

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 621.31

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ В.А. Попов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Система моніторингу флікера в системах електропостачання»

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ОН-81мп

Онопрієнка Романа Миколайовича \_\_\_\_\_  
( прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф. Волошко А.В. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д. \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра електропостачання  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Онопрієнку Роману Миколайовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система моніторингу флікера в системах електропостачання»

науковий керівник дисертації д.т.н., проф. Волошко А.В. \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. № 3816 -с

2. Строк подання студентом дисертації 15 грудня 2019 року

3. Об'єкт дослідження : процес оцінювання якісних характеристик режимів електропостачання \_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): методи та засоби оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- Проаналізувати сучасний стан методів та засобів оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі;
- Вплив нелінійних споживачів електричної енергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі;
- Розробка способу визначення флікера в електричній мережі.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження алгоритми розрахунків та таблиці з отриманими результатами.

7.Орієнтовний перелік публікацій:

Волошко А.В., Піндюра В.О., Онопрієнко Р.М. Підпрограма формування та передачі даних про кількісні характеристики режимів електроспоживання / Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 50 - Київ, 2018.

8.Консультанти дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 31 травня 2019 року

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Визначення мети, об'єкту, предмету дослідження.	31.05.19-04.06.19	
2	Визначення попередньої структури дисертації	04.06.19-06.06.19	
3	Огляд літератури та робота над першим розділом	06.06.19-06.07.19	
4	Аналіз водневих технологій та робота над другим розділом	06.07. 19-06.08.19	
5	Проведення розрахунків та робота над третім розділом	06.08.19-11.11.19	
6.	Розробка стартап проекту	11.11.19-01.12.19	
7.	Оформлення дисертації	01.12. 19-08.12.19	
8.	Оформлення реферату та презентації	30. 10.19-10.12.19	
9.	Передзахист МД	10.12.19-15.12.19	
10.	Захист дисертації	16.12.19-20.12. 19	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Онопрієнко Р.М.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Волошко А.В.

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг роботи:** 96 сторінок, 19 рисунків, 32 таблиці та 54 бібліографічних найменувань за переліком посилань

**Актуальність теми.** В Україні є великі ресурси розосередженої генерації. Використання їх в електроенергетиці України є досить новим і перспективним. Але з поширенням різномірних джерел розосередженої генерації, постає задача оцінки якості електричної енергії. Генерація електричної енергії альтернативними джерелами має імовірнісний характер. Протягом невеликого періоду часу можливі суттєві зміни величини генерованої активної потужності в значному діапазоні, в той час як для надійного забезпечення споживачів електричною енергією в електроенергетичній системі (ЕЕС) повинен зберігатись баланс активної потужності, тобто генерація електричної енергії має відповідати споживанню.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Виконані в роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики кафедри електропостачання НТУУ «КПІ».

Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні закріплено на державному рівні у Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року та Енергетичній стратегії України на період до 2030 року.

**Метою і завданням дослідження** є підвищення точності та швидкості вимірювання параметрів якості електричної енергії в системі електропостачання на основі існуючої моделі.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- аналіз сучасного стану методів та засобів оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі;

- аналіз впливу нелінійних споживачів електричної енергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі;
- аналіз розробки способу визначення флікера в електричній мережі.

**Об'єктом дослідження** є процес оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Предметом дослідження** є методи та засоби оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Методи дослідження.** Методичною основою магістерської дисертації є методи ортогональних перетворень, методи Фур'є та вейвлет-аналізу. Використано програмний комплекс Matlab Simulink.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- удосконалено способи ідентифікації спотворень якості електроенергії.
- підвищено швидкість оцінки частоти окремих гармонічних складових та точність знаходження гармонічних та інтергармонічних груп та підгруп в електромережі.

**Практичне значення роботи.** Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючих в Україні методів визначення якісних характеристик електроспоживання та гармонічного аналізу.

Визначений метод вейвлет-аналізу для визначення гармонічного складу напруги і струму є найбільш точним методом при наявності нелінійних спотворень в електричній мережі, який може бути використаний в системах моніторингу на виробничих сферах.

**Апробація результатів роботи.** Результати магістерської дисертації були оприлюднені на II НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ МАГІСТРАНТІВ ІЕЕ пам'яті професора Василя Миколайовича Винославського (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 21-22 листопада 2019 року, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Публікації.** За результатами наукових досліджень було опубліковано:

- Волошко А.В., Піндюра В.О., Онопрієнко Р.М. Підпрограма формування та передачі даних про кількісні характеристики режимів електроспоживання /Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 50 - Київ, 2018.

**Ключові слова:** *якість електричної енергії, розосереджена генерація, доза флікера, ортогональні вейвлет-перетворення, інтергармонічні коливання, субгармонічні коливання, електроенергія, перетворення фур'є, узагальнений коефіцієнт якості електричної енергії, децентралізовані системи електропостачання.*

## **ABSTRACT**

Structure and scope of work: 96 pages, 19 figures, 32 tables and 54 references to the sources of information used. Actuality of theme. There are large dispersed generation resources in Ukraine. Their use in Ukrainian electricity is quite new and promising. But with the spread of heterogeneous sources of dispersed generation, the task of assessing the quality of electricity arises. Generation of electricity by alternative sources is probabilistic. Substantial changes in the magnitude of the generated active power over a large range are possible over a short period of time, while a reliable balance of active power must be maintained in order to reliably supply electricity to the electricity system (EES), ie, the generation of electricity must be consistent with consumption.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The studies performed correspond to the direction "Energy and Energy Efficiency" of the Law of Ukraine No. 2519-VI of 09/09/2010 "On Priority Areas of Science and Technology", the complex program of NTUU "KPI" "Energy of Sustainable Development" and the direction of the topic of the Department of Power Supply of NTUU KPI. The development of renewable energy sources (RES) in Ukraine is enshrined at the national level in the National Renewable Energy Action Plan for 2020 and the Energy Strategy of Ukraine for 2030.

The purpose and purpose of the study is to improve the accuracy and speed of measuring the quality parameters of electricity in the power supply system based on the existing model.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- analysis of the current state of methods and means of assessing the presence of higher harmonics in the electrical network;
- analysis of the influence of nonlinear electricity consumers on the presence of higher harmonics in the electricity grid;

- analysis of the development of the method of determining the flicker in the electrical network.

The object of the study is the process of estimating the presence of higher harmonics in the electrical network.

The subject of the study is methods and means of estimating the presence of higher harmonics in the electrical network.

Research methods. The methodological basis of the master's thesis is the methods of orthogonal transformations, Fourier methods and wavelet analysis. Matlab Simulink software is used.

The scientific novelty of the obtained results is the following:

- ways of identifying distortions in electricity quality have been improved.
- Increased speed of estimation of frequency of individual harmonic components and accuracy of finding of harmonic and interharmonic groups and subgroups in the grid.

Publications. According to the results of scientific researches it was published: - Voloshko A.V., Pindyura V.A., Onoprienko R.M. Subroutine of formation and transfer of data on quantitative characteristics of power consumption modes / Copyright and related rights. Official Bulletin № 50 - Kyiv, 2018.

**Keywords:** *quality of electricity dispersed generation dose flicker, orthogonal wavelet transform, interharmonichni oscillations, subharmonic oscillation, electricity, fourier transform, generalized slope of electricity, decentralized electricity supply.*



## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП .....</b>	<b>12</b>
<b>1 РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....</b>	<b>16</b>
1.1 Джерела розосередженої генерації електричної енергії .....	16
1.2 Показники якості електричної енергії.....	24
1.2.1 Основні і додаткові показники якості електроенергії .....	25
1.3 Вплив впровадження джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання.....	34
Висновки розділу .....	40
<b>2. ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ Е/Е НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ .....</b>	<b>41</b>
2.1 Побудова електричної мережі із наявністю джерел розосередженої генерації.....	41
2.2 Дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією .....	45
2.3 Дослідження взаємного впливу різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу флікера .....	47
2.4 Дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань .....	49
Висновок до розділу .....	52
<b>3 ВИЗНАЧЕННЯ ГАРМОНІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТУПЕНЮ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ СИГНАЛУ .....</b>	<b>53</b>

Висновки до розділу .....	66
<b>4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....</b>	<b>67</b>
4.1 Опис ідеї проекту .....	67
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	70
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	71
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	77
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	80
Висновки до розділу .....	86
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>88</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>90</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЄЕС- Єдина енергетична система

РГ-розподілена генерація

DESS-системи розподіленого зберігання електроенергії

ТЕЦ-теплоелектроцентралі

КВП-коефіцієнт використання палива

ЯЕЕ-якість електричної енергії

ТЗП-точки загального приєднання

ПЯЕ-показники якості електроенергії

КН-коливання напруги

АЧХ-амплітудно-частотна характеристика

ПЕ-приймач електроенергії

ЛДЖ-локальне джерело живлення

ЦЕС-централізована енергетична система

АГ-асинхронні генератори

ЕЕ-електрична енергія

СЕС – сонячна електростанція

ДГ – дизель генератор

ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція

ДПФ-дискретне перетворення Фур'є

ШПФ-швидке перетворення Фур'є

БВП- безперервне вейвлет-перетворення

КМА-коротко-масштабний аналіз

АСКПЯЕ-автоматизована система показників якості електричної енергії

АСОЕ-автоматизована система обліку електричної енергії

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Технічні, політичні та екологічні фактори останнім часом стимулюють відносно швидкий ріст числа установок розосередженої генерації (РГ) в світі. При цьому загальна встановлена потужність РГ в Україні залишається не великою, та її вплив на роботу енергосистеми залишається незначним. Проте, по мірі того як встановлена потужність РГ збільшується, вплив, який вона має на мережу, буде збільшуватися [1].

Україна має потужні ресурси вітрової та сонячної енергії. Як приклад, річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВт·год. Експлуатація тихохідних багатопалевних вітроустановок із підвищеним обертаючим моментом є ефективною практично по всій території України [2].

До складу системи електропостачання РГ входить таке устаткування: вітро-енергетична станція (ВЕС), сонячна енергостанція (СЕС), гідроенергетична станція (ГЕС), гідроакumuлююча станція (ГАЕС), батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі ВДЕ з метою живлення системи її управління; перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги, що служить для перетворення електроенергії від ВДЕ у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами [3].

На підприємствах актуальним і можливим є впровадження в загальну структуру системи електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел. Водночас із метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурних системах електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, що пов'язані з приєднанням джерел розосередженої генерації в комплекс вищезгаданих систем.

Характеристика і кількісна оцінка впливу РГ є достатньо складною науково-технічною задачею, постільки повинні бути проаналізовані одночасно

аспекти функціонування системи контролю напруги, втрат, якість електроенергії, надійність і багато іншого.

При обговоренні впливу РГ на якість електричної енергії, як правило, існують дві основні проблеми, а саме, флікер напруги та гармоніки.

Якщо частка РГ є досить великою, а РГ піддається частим і суттєвим змінам, то флікер напруги можливо відчувається деякими електроприймачами.

Метод зменшення флікера напруги та його ефективність залежать від багатьох факторів і досить складна задача. Якщо РГ взаємодіє через перетворювач, то відносно легко досягти зменшення пускових струмів. Зокрема, потенційними причинами флікера напруги у вітроелектростанції вважались зміна швидкості вітру або зміна вихідної потужності. Проте в конструкції сучасних вітротурбін внесені зміни, які дозволяють ефективно уникати великих коливань потужності протягом короткого періоду часу[3].

Загальновизнано, що наявність нелінійних елементів в системі електропостачання, наприклад, силових перетворювачів призводить до виникнення гармонік. Силові електронні установки, які використовує РГ, можуть викликати появу гармонік. Амплітуда і порядок гармонічних струмів, які вносяться перетворювачами постійної /змінної напруги, залежать від режиму роботи.

Теоретично РГ на основі перетворювачів енергії можуть бути використані для зменшення величини відхилення напруги.

Тобто можна зробити наступний висновок про те, що максимальна допустима кількість РГ, які можуть бути підключені до розподільчої мережі без втрат для нормальної роботи є досить конкретним для кожного випадку і залежить від конкретних обставин, залежних з функціонуванням як РГ, так і мережі. Розробки в області РГ Українських та зарубіжних виробників дозволяють говорити про те, що сучасні технологічні установки РГ мають досить високу ефективність і при оптимальному розміщенні в розподільчій мережі не мають негативного впливу на неї [3].

В даній роботі наведено якісний аналіз впливу джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання. Також наведено виявлення інтергармонік та субгармонік на аналіз якості електроенергії.

**Мета і задачі дослідження.** Підвищити точність та швидкість вимірювання параметрів якості електричної енергії в системі електропостачання на основі аналізу інтер та субгармонік.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені такі завдання:

- аналіз сучасного стану методів та засобів оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі;
- аналіз впливу нелінійних споживачів електричної енергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі та їх спільну роботу;
- розробка способу та визначення інтер та субгармонік в електричній мережі.

**Об'єктом дослідження** є процес оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Предметом дослідження** є методи та засоби оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Методи дослідження.** Методичною основою магістерської дисертації є методи ортогональних перетворень, методи Фур'є та вейвлет-аналізу. Використано програмний комплекс Matlab Simulink.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- Розроблено спосіб та методика оцінки гармонічного складу електричної напруги за рахунок групування інтер та субгармонік, що дозволило проводити онлайн моніторинг якості електричної енергії.
- підвищено швидкість оцінки частоти окремих гармонічних складових та точність знаходження гармонічних та інтергармонічних груп та підгруп в електромережі.

**Практичне значення роботи.** Отримані результати можуть бути використані для удосконалення діючих в Україні методів визначення якісних характеристик електроспоживання та гармонічного аналізу.

Визначений метод вейвлет-аналізу для визначення гармонічного складу напруги і струму є найбільш точним методом при наявності нелінійних спотворень в електричній мережі, який може бути використаний в системах моніторингу на виробничих сферах.

**Апробація результатів роботи.** Результати магістерської дисертації були оприлюднені на II НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ МАГІСТРАНТІВ ІЕЕ пам'яті професора Василя Миколайовича Винославського (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 21-22 листопада 2019 року, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Публікації.** За результатами наукових досліджень було опубліковано:

- Волошко А.В., Піндюра В.О., Онопрієнко Р.М. Підпрограма формування та передачі даних про кількісні характеристики режимів електроспоживання/ Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 50 - Київ, 2018.

## **1 РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

### **1.1 Джерела розосередженої генерації електричної енергії**

Сьогодні електроенергетика переживає кардинальну трансформацію, основними стимулюючими факторами якої є технологічні новації, що зумовлюють можливості для переходу до принципово нового етапу розвитку. В останні роки відбулися зміни, які змусили переглянути вимоги до об'єктів генерації, до мережевої інфраструктури і в цілому до організації електроенергетики і електроенергетичних ринків [4].

Наростаючий знос електроенергетичної інфраструктури, залучення розподілених енергетичних ресурсів (в т. ч. відновлюваних), зміна ролі традиційних джерел енергії і енергоносіїв, зростання попиту на електроенергію і трансформація його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів - все це вимагає вивчення факторів поширення нових технологій в електроенергетиці для переходу до наступного енергетичного укладу.

Загальносвітовою тенденцією стає поступова відмова від централізованого енергопостачання. Так, по всьому світу вже 12,5% великих виробників користуються власними генеруючими джерелами. Абсолютним лідером є Данія, де вже більше половини виробництв перейшли на власні джерела [5].

Згідно з Енергетичною стратегією України до 2020 року заплановано досягнути частки відновлювальних джерел електроенергії у кінцевому споживанні в 11% [6]. Тенденція проглядається на рівні великих споживачів, які один за одним відмовляються від електроенергії, одержуваної з єдиної енергетичної системи (ЄЕС), на користь встановлення власної малої (розподіленої) генерації. Розподілена енергетика (мала енергетика, мала розподілена енергетика) - концепція розвитку енергетики, що передбачає



будівництво споживачами електричної енергії джерел енергії компактних розмірів або мобільної конструкції і розподільних мереж, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а також напрямних надлишків в загальну мережу (електричну або теплову) [7].

Дана концепція має на увазі будівництво додаткових джерел електроенергії в безпосередній близькості від споживачів. Потужність таких джерел вибирається, виходячи з очікуваної потужності споживача з урахуванням наявних обмежень (технологічних, правових, екологічних і т. д.) і може варіюватися в широких межах (від двох-трьох до сотень кіловат). При цьому споживач не відключається від загальної мережі електропостачання [8].

Можна виділити наступні технології розподіленої малої енергетики, при цьому в системі «споживач - місцеве джерело енергії» регулярно виникають дисбаланси між виробництвом і споживанням енергії або між потребою в її видах, наприклад:

- потужність сонячних батарей і вітрогенераторів змінюється в залежності від погодних умов, а споживання електроенергії від погоди може надаватися незалежно або змінюватися в протилежну сторону;

- у зимовий час споживання теплової енергії залишається постійно високим, а споживання електроенергії змінюється за часом доби [9].

Наявність підключення до загальної електричної мережі дозволяє компенсувати недолік електроенергії за рахунок її споживання від загальної мережі, а в разі надмірного виробництва електроенергії власним джерелом - видавати її в мережу, з отриманням відповідного доходу. Такий підхід дозволяє:

- знизити втрати електроенергії при транспортуванні через максимального наближення електрогенераторів до споживачів електрики, аж до розташування їх в одній будівлі;

- зменшити число, протяжність і необхідну пропускну здатність магістральних ліній електропередачі;

- пом'якшити наслідки аварій на центральних електростанціях і головних лініях електропередачі за рахунок наявності власних джерел енергії;
- забезпечити взаємне багаторазове резервування електрогенеруючих потужностей (частково);
- знизити вплив на навколишнє середовище за рахунок застосування засобів альтернативної енергетики;
- брати участь в управлінні попитом на електроенергію [9].

Повна відмова від потужних центральних електростанцій і остаточна децентралізація електрогенерації в даний час неможлива як з економічних міркувань, так і в зв'язку зі складністю управління безліччю об'єктів і їх технічного обслуговування, необхідністю постійної підтримки балансу генерації і споживання, необхідністю наявності резервних потужностей.

Відповідно, споживачі, підключені до ЄЕС на низькому рівні напруги (малі і середні підприємства), змушені нести додаткові витрати, пов'язані з функціонуванням ЄЕС, і терплять зниження ефективності в зв'язку з ростом цін на електроенергію.

Фокусування виробництва енергії, головним чином, на викопних джерелах, зокрема, зростаюче значення вугілля, таїть у собі загрозу того, що у поєднанні з економічним зростанням і підвищенням попиту на енергоносії буде спостерігатися повторне збільшення викидів парникових газів. Тим самим, тривалий період використання новостворених викопних генеруючих потужностей призведе до залежності від вибраного шляху і визначить баланс викидів аж до середини цього століття. Внаслідок цього Україна була б погано підготовлена до можливих майбутніх зобов'язань щодо захисту клімату, які, зокрема, видаються вірогідними у разі подальшої європейської інтеграції енергоринків. Це створює мікроекономічні стимули для ефективнішого використання енергії та покращення рамок умов для розвитку відновлюваних джерел енергії. Важливою особливістю України є дуже тісний зв'язок між державою і приватним капіталом. З одного боку, цей зв'язок полегшує

реалізацію організованих на засадах приватної економіки крупних проектів, тому що їх можна здійснювати за принципом "зверху-вниз" («*top-down*») [10]. Це стосується також сфери відновлюваних джерел енергії. Проте, з іншого боку, цей підхід знижує довіру іноземних інвесторів до структур політичного підпорядкування і гальмує активність саме середніх підприємств. Німецький досвід засвідчує, що сектор використання відновлюваних джерел енергії тримається на приватних компаніях – і в першу чергу на середніх підприємствах[11].

За останні роки процесу демократизації в Україні сформувалися певні сили громадянського суспільства, які поряд з активною позицією щодо екології та захисту клімату вимагають також ширшого використання відновлюваних джерел енергії. Разом із строгими авторитарними підходами у енергетичній політиці України це викликало появу нових інструментів сприяння, зокрема, і для альтернативних джерел енергії, як, наприклад, закон про "зелений тариф". Цей закон, аналогічно до німецького закону про відновлювані джерела енергії, тимчасово стимулюватиме виробництво енергії з відновлюваних джерел.

Розвиток сектору відновлюваних джерел енергії в Україні буде зумовлюватися низкою загальних політичних та економічних чинників, які впливають на інвестиційний клімат і стосуються економічного процвітання загалом. Значною мірою це стабільна, орієнтована на сталий розвиток і зростаючий добробут законодавча влада, ефективна виконавча влада, що заслуговує на довіру, та судова влада, яка забезпечує правову надійність.

Окрім цих загальних вимог можна зробити такі рекомендації щодо ефективного з точки зору економіки використання в Україні потенціалу відновлюваних джерел енергії, як того, що розвивається, так і того, що вже існує. По-перше, варто порекомендувати, щоб були сформульовані чіткі цілі стосовно використання відновлюваних джерел енергії та траєкторії їх розвитку, які стали б інтегральною складовою національної енергетичної стратегії. Лише за допомогою довгострокового планування потужностей для задоволення попиту

на електроенергію і тепло, ґрунтованого на реалістичних прогнозах споживання, можна забезпечити макроекономічно ефективне та мікроекономічно здійсниме постачання. Для цього необхідно шляхом розрахунків визначити технічний і зумовлений ним економічний потенціал окремих видів генерації. Сприяючи формуванню громадської екологічної свідомості через просвітництво і професійну підготовку необхідно підвищувати рівень визнання відновлюваних джерел енергії серед населення. Вищі ціни на генерацію енергії із відновлюваних джерел вимагають громадської легітимації. Подальше поступове підвищення цін на електроенергію і тепло допоможе знизити рівень споживання і тим самим зменшити обсяг необхідних інвестицій у генеруючий сектор. Позитивний ефект щодо підтримки фінансування проєктів із створення потужностей відновлюваної енергетики та стимулювання швидкого розвитку ринку можуть мати іноземні приватні інвестиції. Однак для цього варто порекомендувати скоротити кількість діючих регуляторних норм та упорядкувати систему адміністрування у сфері енергетичної політики, що означатиме для потенційних іноземних інвесторів полегшення входу в цей бізнес та спрощення інвестиційної діяльності. Звідси впливає рекомендація щодо спрощеного і прозорішого ліцензування. Поряд з цим усунення існуючих наразі бар'єрів у фінансуванні, зумовлених високими кредитними відсотками, можуть посприяти державні гарантії. Для фінансування екологічних і кліматозахисних проєктів було б на короткострокову перспективу доцільно активніше використовувати національний капітал, накопичений завдяки продажу емісійних сертифікатів, оскільки це допомогло б швидшому проникненню на ринок відновлюваних джерел енергії.

До розподіленої генерації (РГ) відносять не тільки власне генерацію, а й системи розподіленого зберігання електроенергії (*DESS*), програми незалежно від вартості зниження споживання, заходи по підвищенню енергоефективності споживачів, мікрогріди і електромобілі[12]. Наприклад, сьогодні в США більшу частину встановленої потужності розподілених енергоресурсів становить не

генерація, а незалежне від ціни зниження споживання і заходи по підвищенню енергоефективності [12].

Тільки програми різних енергокомпаній з метою знизити споживання електроенергії в години найбільшого попиту здатні скоротити пікове споживання (відповідно, і потреба в додаткових блоках і мережевої інфраструктури) на 5-6%, або на кілька десятків гігават. Наприклад, компанія ConEdison заощадила понад 1 млрд дол. інвестицій, які повинні були піти на розширення мережевої інфраструктури в кількох районах Нью-Йорка[4].

Замість цього компанія запустила масштабну програму щодо зниження навантаження на 52 МВт в пікові години, її реалізація обійшлася в 200 млн дол. За допомогою аукціонів в програмі відібрали багато різних заходів - від заміни лампочок на більш ефективні до установки накопичувачів електроенергії у споживачів і агрегованого управління цим обладнанням [4].

У більш вузькому сенсі розподілена генерація тлумачиться як будівництво і експлуатація джерел електричної (теплової) енергії споживачами для власних потреб. Надлишки електроенергії направляються в загальну мережу.

До об'єктів розподіленої генерації відносять енергоджерела малої потужності, до 25 МВт [1]. До розподіленої генерації також віднесені об'єкти когенерації (спільне виробництво електроенергії і тепла), а також системи поновлюваних джерел енергії. Так, до малої енергетики віднесено об'єкти потужністю менше 25 МВт, до мікроенергетики, за різними джерелами, менше 1 МВт [2,3].

Отже, розподілена генерація має на увазі вироблення електроенергії за місцем її споживання безліччю споживачів, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а надлишки направляють в загальну мережу.

У широкому сенсі це об'єкти, які знаходяться поблизу кінцевого споживання, незалежно від того, хто є їх власником. До даної категорії відносять:

- блок-станції - джерело електричної (іноді теплової) енергії, розташований на території або в безпосередній близькості від промислового підприємства і належить власникам цього підприємства на правах власності або взятий в оренду. Блок-станції, як правило, вигідні, оскільки можуть функціонувати за рахунок побічних продуктів основного виробництва (попутний або доменний газ і т.п.).

- теплоелектроцентралі (ТЕЦ) – комбіноване виробництво електроенергії і тепла, що підвищує коефіцієнт використання палива (КВП) в середньому на 30%. Завдяки цьому істотні витрати і незручності при спорудженні та експлуатації тепломереж стають прийнятними. Це одна з причин, за якими когенерація широко пропагується і заохочується зараз на Заході Європи[4].

Джерела конкурентних переваг розподіленої генерації. Розподілена генерація має ряд переваг за сукупністю показників надійності, якості і вартості в порівнянні з поставками з розподільної мережі (останні залишаються запасним варіантом).

Розподіленість джерел енергопостачання є важливим фактором підвищення енергетичної безпеки, оскільки знижує ризики і дозволяє більш швидко відновлювати енергопостачання споживачів, наприклад після природних катаклізмів, катастроф або кібератак.

Розвиток виробничих потужностей і сфер застосування розподіленої енергетики стимулює розвиток технологій управління, обладнання та сервісу, що забезпечують їх максимально ефективно використання в контурі енергосистеми і на енергетичному ринку, створює технологічну основу для появи масових активних споживачів і можливості для виходу на масштабний глобальний ринок.

Конкурентні переваги виділені в трьох сферах: економіка (наприклад, обмеження зростання ціна електроенергію), управління (розвиток нових технологій управління попитом на електроенергію, обладнання сервісу в компаніях) і екологія (розподілена генерація служить скороченню викидів парникових газів і запобігання зміни клімату).

Фактори застосування технологій розподіленої генерації. Компанії будуть будувати і використовувати власні джерела генерації, коли усвідомлюють вигоди їх застосування і будуть готові до їх впровадження. Відповідно, важливо вивчити прийнятність технологій розподіленої генерації і їх сприйняття з боку промислових підприємств.

Факторам сприйняття нових технологій промисловими компаніями присвячено не так багато досліджень.

В таблиці 1.1 наведено бар'єри розвитку розподіленої генерації.

Таблиця 1.1- Бар'єри розвитку розподіленої генерації [4]

<b>Домінування традиційної моделі організації галузі</b>	Рішення в області енергетики засновані на моделі централізованого виробництва електроенергії з використанням мережі передачі і розподілу для поставки електроенергії споживачам
	Інституційна структура, правила і норми, вимоги до монтажу та технічні стандарти створюють більш сприятливі умови для централізованого виробництва електроенергії, ніж для розподіленої генерації
	Історично витрати на електроенергію були значно меншими в порівнянні з іншими витратами, ніж в даний час, розвиток альтернативних джерел не отримувало стимулу
	Проблеми навколишнього середовища надали імпульс розвитку генеруючих об'єктів різної потужності на основі відновлювальних джерел електроенергії, проте не забезпечили створення фінансових стимулів
<b>Визначення потенційних можливостей розподіленої генерації</b>	Інформація про можливості використання альтернативних джерел енергії обмежено доступна для побутових споживачів
	Норми та рекомендації процедури сертифікації постачальників не узгоджені, і їх реалізація утруднена
	Проблеми, пов'язані з нормами регулювання, технічними аспектами і потужністю

Продовження таблиці 1.1

	Підключення розподіленої генерації викликає складності, незважаючи на наявність норм регулювання
	Мікроустановки розподіленої генерації потребують високих витрат на монтаж
<b>Рентабельність розподіленої генерації</b>	Отримання дозволів на використання ресурсів і будівництво систем розподіленої генерації вимагає значних витрат часу і коштів, для об'єктів малої генерації вимоги істотно завищені
	Вартість електроенергії від установок розподіленої генерації може бути більш високою в порівнянні з цінами на електроенергію, що поставляється з мережі
	Застосування нової технології може бути пов'язано з додатковими витратами і ризиком
	Енергозбутових компанії рідко готові купувати надлишкову електроенергію, вироблену мікроустановками розподіленої генерації
	Термін окупності систем розподіленої генерації занадто великий для побутових споживачів
<b>Отримання інвестицій в розподільні мережі</b>	Розподільні компанії можуть не мати достатніх стимулів для інвестування на підтримку розподіленої генерації

На сприйняття нових технологій також впливають специфічні характеристики, до яких віднесено швидкість, надійність, задоволення від використання, контроль процесу використання, ризик використання [13].

## 1.2 Показники якості електричної енергії

Контроль якості електричної енергії має на увазі оцінку відповідності показників встановленим нормам, а подальший аналіз якості електроенергії -



визначення сторони винною в погіршенні цих показників. Енергоефективність безпосередньо залежить від якості електроенергії [2].

Характеристики електричної енергії схильні до змін через зміни навантаження, впливу кондуктивних електромагнітних завад, що створюються окремими видами обладнання, і виникнення несправностей, що викликаються, головним чином, зовнішніми подіями. В результаті виникають зміни і відхилення характеристик в часі в будь-якої окремої точці передачі електричної енергії користувачеві.

У вимогах до якості електричної енергії, [14], вказуються технічно допустимі межі відхилень значень від номінальних параметрів. У нас в країні перший державний стандарт на якість електроенергії був прийнятий в 1996 році (ДСТУ 3466-96), який набув чинності з 1998 року. На даний час діє новий стандарт [14], який був прийнятий в 2014 році та набув чинності в цьому ж році.

### **1.2.1 Основні і додаткові показники якості електроенергії**

[14] встановлює показники і норми якості електричної енергії (ЯЕЕ) в електричних мережах систем електропостачання загального призначення змінного трифазного і однофазного струму частотою 50 Гц в точках, до яких приєднуються електричні мережі, що перебувають у власності різних споживачів, або приймачі електричної енергії (точки загального приєднання - ТЗП).

Цей стандарт встановлює 11 основних показників якості електроенергії (ПЯЕ):

- відхилення частоти  $\delta f$ ;
- усталене відхилення напруги  $\delta U_y$ ;
- розмах зміни напруги  $\delta U_l$ ;
- дозу флікера (мерехтіння або коливання)  $P_t$ ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги  $KU$ ;
- коефіцієнт п-й гармонійної складової напруги  $KU(n)$ ;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_2U$ ;

- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю  $K_0U$ ;
- глибину і тривалість провалу напруги  $\delta Un, \Delta tn$ ;
- імпульсна напруга  $U_{imp}$ ;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги  $K_{пер}U$ .

При визначенні значень деяких показників ПЯЕ використовують такі допоміжні параметри електричної енергії:

- частоту повторення змін напруги  $F_\delta U_i$ ;
- інтервал між змінами напруги  $\Delta t_i, t_i + 1$ ;
- глибину провалу напруги  $\delta Un$ ;
- частота появи провалів напруги  $F_n$ ;
- тривалість імпульсу за рівнем 0,5 його амплітуди  $\Delta t_{imp0,5}$ ;
- тривалість тимчасової перенапруги  $\Delta t_{пер} U$ .

Вставлено два види норм ПЯЕ: нормально допусто (норм.) і гранично допустимі (гран.).

Принцип нормування ПЯЕ показано на рисунку 1.1 [7].

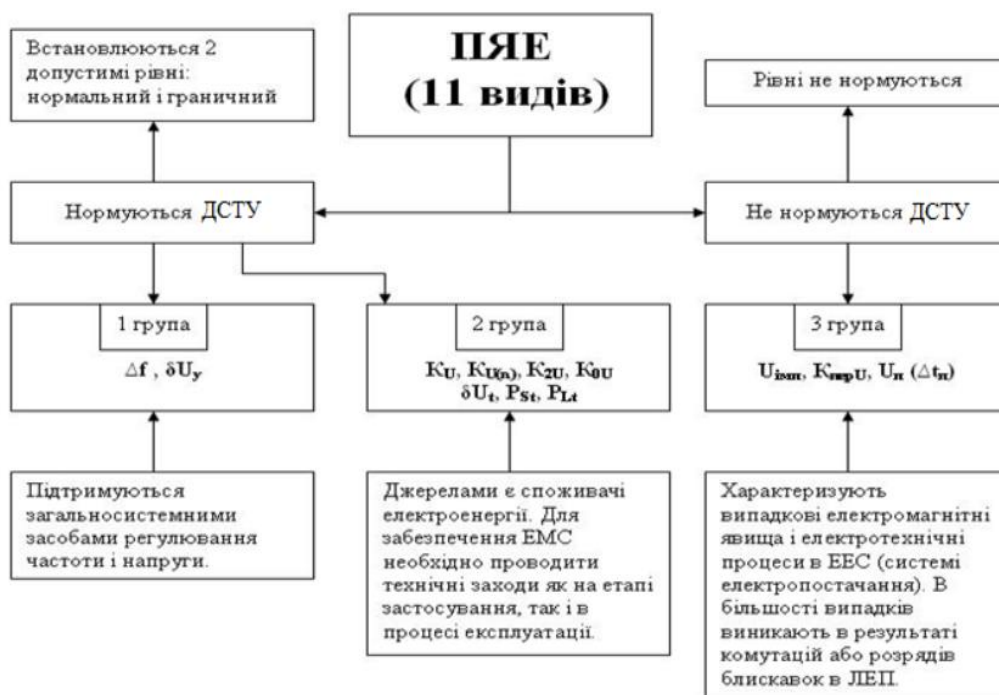


Рисунок 1.1 – Нормування ПЯЕ

Відхилення частоти і причини його виникнення. Відхилення частоти в електричній системі, Гц, характеризує різницю між дійсним і номінальним значеннями частоти змінного струму в системі електропостачання і визначається за виразом згідно [14]:

$$\delta f = f - f_{ном}^1, \quad (1.1)$$

де  $f$  - дійсне значення частоти змінного струму в системі електропостачання, Гц

Допустимі норми щодо відхилення частоти складають згідно[14]:

$$\delta f_{норм} = \pm 0,2 \text{ Гц}, \quad (1.2)$$

$$\delta f_{доп} = \pm 0,4 \text{ Гц}, \quad (1.3)$$

де  $f_{норм}$  - норма щодо відхилення частоти, Гц,

де  $f_{доп}$  – допустиме відхилення частоти, Гц.

Частота змінного струму в електричній системі визначається швидкістю обертання генераторів електростанцій. Номінальне значення частоти в ЄЕС України 50 Гц в електричній системі може бути забезпечено за умови наявності резерву активної потужності. У кожен момент часу в електричній системі має бути забезпечено рівність (баланс) між потужністю генераторів електростанцій і потужністю, споживаною навантаженням з урахуванням втрат потужності на передачу в електричній мережі. Введення резервної потужності можливо в системі за рахунок додаткової витрати енергоносія турбін електростанцій.

Відхилення напруги. Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення поточного значення напруги  $U$  від номінального значення  $U_{ном}$  згідно [14]:

$$\delta U_y = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100\% \quad (1.4)$$

Відхилення напруги обумовлено зміною втрат напруги, що викликаються зміною потужностей навантажень. Відхилення напруги нормується на виводах приймачів електричної енергії [13]:

$$\delta U_{y.норм} = \pm 5\%, \quad (1.5)$$

$$\delta U_{y.доп} = \pm 10\%, \quad (1.6)$$

де  $U_{y.норм}$  – номінальне усталене значення відхилення напруги, В

Коливання напруги. Одним із засобів вимірювання коливань напруги (КН) є флікерметр, призначений для вимірювання дози флікера ( $P_t$ ). Згідно [1], доза флікера – міра сприйнятливості людини до дії флікера за встановлений проміжок часу. За допомогою флікерметра доза флікера визначається експериментально. Структурна схема флікерметра приведена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Структурна схема флікерметра [7]

Флікерметр складається з двонапівперіодного випрямляча 1, фільтру 2 з певною амплітудно-частотною характеристикою, відповідною АЧХ зорового аналізатора, підсилювача 3, квадратора 4 і інтегратора 5. Інтеграція здійснюється за 1 хвилину. У основу роботи цього приладу покладено визначення співвідношення еквівалентності між амплітудою КН з частотою  $f$  і амплітудою модульованого КН з частотою 10 Гц. Результати фіксуються стрілочним приладом або на стрічці самописця. По отриманих гістограмах однохвилинних доз флікера будується графік їх зміни протягом часу вимірів. Середній нахил його не повинен перевищувати  $(0,1\%)^2$  /хв.

Коливання напруги характеризуються розмахом зміни напруги  $\delta U_L$ , частотою повторення змін напруги  $F_\delta U_t$ , інтервалом між змінами напруги  $\Delta t_i, t_{i+1}$ , дозою флікера  $P_t$ .

Джерелами коливань напруги є споживачі електроенергії з швидкозмінним графіком споживання потужності (особливо реактивної). До них відносяться: дугові сталеплавильні печі, електрозварювання, поршневі компресори і ряд інших. При різкому зростанні навантаження відбувається різке збільшення втрат напруги в гілках мережі, які живлять це навантаження. В результаті різко

зменшується напруга на приймальному вузлі гілки. При різкому зменшенні навантаження відбувається зменшення втрат напруги і, отже, збільшення напруги на приймальному вузлі гілки [15].

В електричних мережах розповсюдження коливань напруги відбувається в напрямку до шин низької напруги практично без загасання, а до шин високої напруги - з загасанням по амплітуді. Цей ефект проявляється в залежності від потужності короткого замикання. При поширенні коливань напруги в будь-якому напрямку їх частотний спектр зберігається. Розмах зміни напруги - різниця між наступними один за одним діючих значень напруги будь-якої форми. Між наступними один за одним максимальним і мінімальним значеннями обвідної діючих значень напруги, що огинає діючих (середньоквадратичних) значень напруги - ступінчаста тимчасова функція, утворена діючими значеннями напруги, визначеними на кожному напівперіоді напруги основної частоти.

Якщо огинання діючих значень напруги має горизонтальні ділянки (при спокійному графіку навантаження), то розмах зміни напруги визначається як різниця між сусідніми екстремумів (максимумом або мінімумом) і горизонтальною ділянкою або як різниця між сусідніми горизонтальними ділянками [13]:

$$\delta U_t = U_{\max} - U_{\min} \quad (1.7)$$

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{норм}}} 100\% \quad (1.8)$$

Тривалість зміни напруги - інтервал часу від початку одиночної зміни напруги до його кінцевого значення (рисунку 1.3).

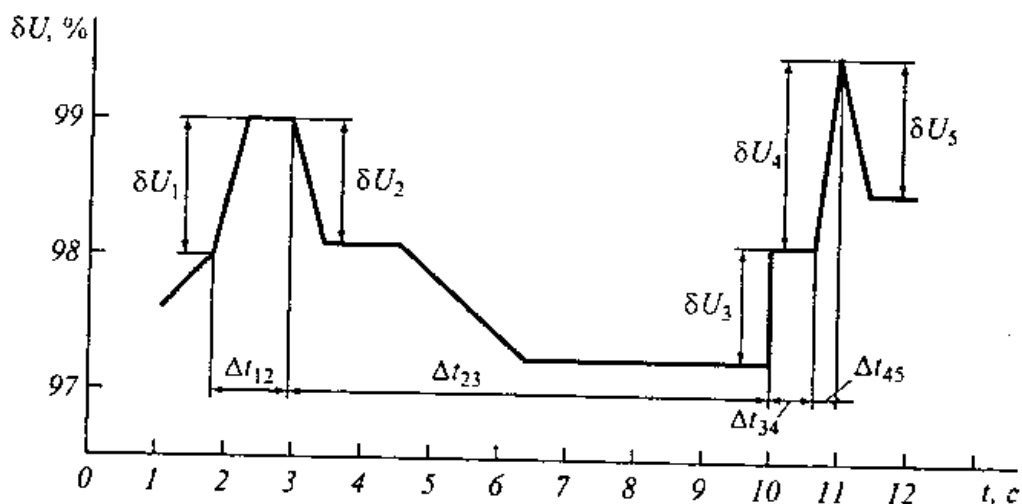


Рисунок 1.3 - Коливання напруги (п'ять розмахів змін напруги) [7]

Флікер (мерехтіння) - суб'єктивне сприйняття людиною коливань світлового потоку штучних джерел освітлення, викликаних коливаннями напруги в електричній мережі, яка живить ці джерела.

Інтегральна характеристика коливань напруги, що викликають у людини накопичується за встановлений період часу роздратування мерехтіннями (миготіння) світлового потоку[16].

Дозу флікера напруги в процентах в квадраті обчислюють за виразом [14]:

$$P_t = \frac{1}{T_{оср}} \int \sum g_f^2 \int \delta U_f^2 dt \quad (1.9)$$

Час сприйняття флікера - мінімальний час для суб'єктивного сприйняття людиною флікера, викликаного коливаннями напруги.

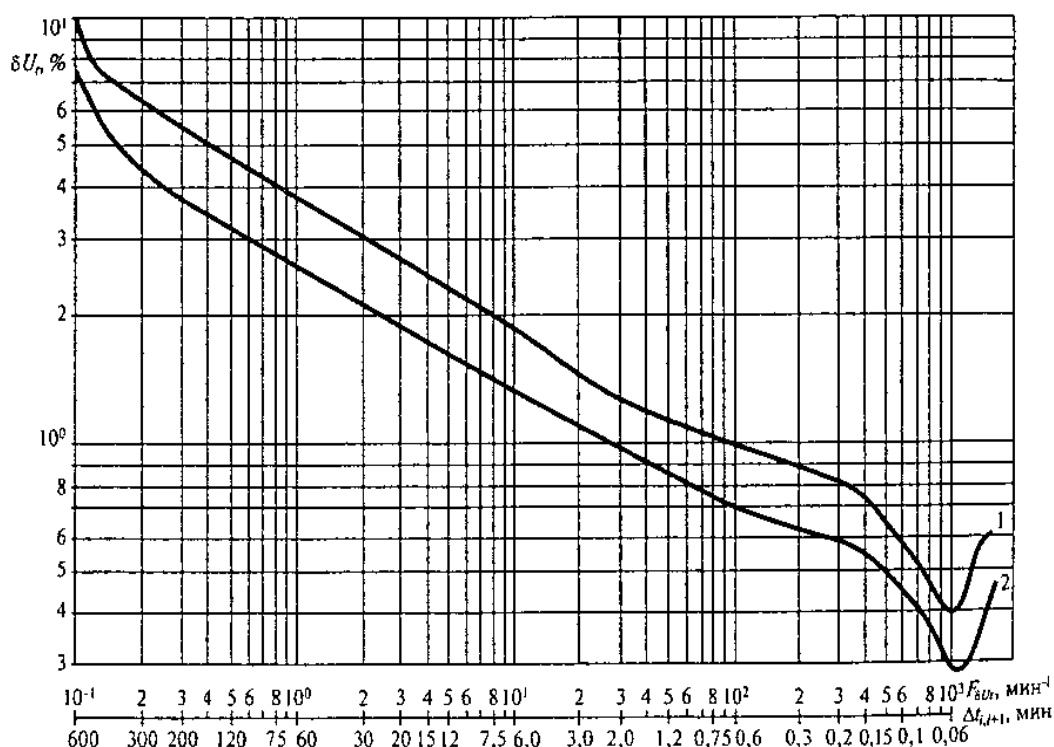


Рисунок 1.4 - Залежності частоти допустимих змін напруги від частоти їх появи [7]

Гранично допустимі значення розмаху зміни напруги в точках загального приєднання до електричних мереж в залежності від частоти повторення змін напруги  $F_{\delta U_n}$ , або інтервалу між змінами напруги дорівнюють значенням, визначеним за кривими рисунку 1.4. Крива 1 - для споживачів електричної енергії, які мають лампами розжарювання. Крива 2 - в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга. Перелік приміщень з розрядами робіт, що вимагають значного зорового напруги, встановлюють у нормативних документах, що затверджуються в установленому порядку.

Гранично допустиме значення суми усталеного відхилення напруги  $\delta U_y$  і розмаху змін напруги  $\delta U_n$ , в точках приєднання до електричних мереж напругою 0,38 кВ рівно  $\pm 10\%$  від номінальної напруги [14].

Гранично допустиме значення для короткочасної дози флікера ( $P_{St}$ ) при коливаннях напруги дорівнює 1,38, а для тривалої дози флікера ( $P_{Lt}$ ) при тих же коливаннях напруги дорівнює 1,0 [14].

Короткочасну дозу флікера визначають на інтервалі часу спостереження, що дорівнює 10 хв. Тривалу дозу флікера визначають на інтервалі часу спостереження, що дорівнює 2 години [14].

Гранично допустиме значення для короткочасної дози флікера  $P_t$  в точках загального приєднання споживачів електричної енергії, які мають лампами розжарювання в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга, так само 1,0, а для тривалої дози флікера  $P_t$  в цих же точках - 0,74.

Несинусоїдальність напруги. Несинусоїдальність напруги з'являється тому, що в кривій напруги, крім гармоніки основної частоти, мають місце гармоніки інших вищих частот, кратних основній частоті ( $n = 2, 3, 4, \dots$ , і т.д.). Гармоніки зазвичай визначаються розкладанням кривої фактичного напруги в ряд Фур'є. Причиною виникнення несинусоїдальності напруги є наявність споживачів електроенергії з нелінійною вольтамперною характеристикою. Основний внесок в несинусоїдальність напруги вносять тиристорні перетворювачі електричної енергії, що набули широкого поширення в промисловості [17].

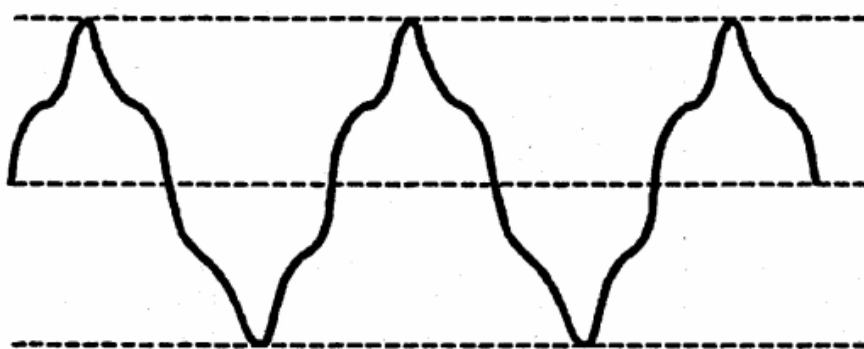


Рисунок 1.5 – Несинусоїдальність напруги [7]

Несинусоїдальність напруги характеризується наступними показниками:

- коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги;
- коефіцієнтом  $n$ -ої гармонійної складової напруги.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги  $K_u$ , %, є відношенням сумарного діючого значення всіх вищих гармонік до діючого значення напруги основної гармоніки, причому  $n \geq 2$  [13]:



$$K_u = \frac{\sqrt{\sum U_{(n)}^2}}{U_{ном}} 100. \quad (1.10)$$

### Висновок

Досвід проектування і експлуатації електричних мереж показує, що заходи по виключенню і зниження впливу електричних мереж на показники якості електроенергії можуть бути досить дорогими. Підтримка оптимального рівня напруги на затискачах кожного приймача електроенергії (ПЕ) в загальному випадку недоцільно і, в першу чергу, з економічних міркувань. Оскільки ПЕ можуть мати неоднакові режими роботи і знаходяться електрично на різній відстані від джерел живлення, то для підтримки оптимального значення напруги на затискачах кожного з них необхідно забезпечити їх індивідуальними регуляторами напруги. Очевидно, що це занадто дорого.

Більш вигідним є групове регулювання напруги, коли загально регулюючий пристрій встановлюється для групи приймачів електроенергії. При цьому, природно, номінальну напругу буде підтримуватися лише у деяких з приймачів електроенергії, тоді як у інших напруга може відхилятися від номінального в більшу або меншу сторону.

Через це в якійсь мірі можуть погіршуватися технічні параметри виробничих установок, негативно впливаючи на їх економічність. Однак економія від заміни індивідуального регулювання напруги правильно обраним груповим, як правило, перекиває відповідне зниження економічності виробництва.

На етапі проектування мережі при нормальних режимах її роботи необхідно розраховувати показники якості електроенергії (ПЯЕ) і вибрати найбільш економічні засоби приведення параметрів режимів до допустимих меж (нормам). В умовах експлуатації в електричній мережі повинен здійснюватися систематичний контроль за ПЯЕ і відповідно вживання заходів щодо приведення параметрів згідно допустимим нормам.

### **1.3 Вплив впровадження джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання**

Як відомо, впровадження джерел розосередженої генерації характеризується різким збільшенням силових електронних систем, що приводить до погіршення якості електричної енергії [14]. Причинами такого погіршення, наряду із впровадженням джерел розосередженої генерації (генерація в електричну мережу гармонік, інтер- та субгармонік), є також наявність у споживачів потужних нелінійних, несиметричних навантажень із різко-змінним режимом роботи. До таких навантажень відносяться дугові електро-сталеплавильні печі, потужні прокатні станки, електрозварні пристрої та інше.

Дані навантаження негативно впливають на якість електричної енергії систем електропостачання, до яких вони підключені. Це обумовлено тим, що характер споживання ними активних і реактивних потужностей відповідає їх різко-змінним, повторно-короткочасним режимам роботи, що призводить до коливань напруги [14] та флікеру. Коливання напруги, у свою чергу, призводить до модуляції у часі амплітуд і фаз складових струму як основної, так і вищих гармонік, які генеруються у електричну мережу.

У зв'язку з цим у роботі розглядається вплив на якість електричної енергії (доза флікера) гармонік, інтергармонік та субгармонік, які генерують у електричну мережу розосереджені джерела енергії. В якості останніх були досліджені: сонячна електростанція, дизель-генератор, вітроелектростанція та мала гідроелектростанція.

Впровадження локального джерела живлення (ЛДЖ) або накопичувача на стороні споживача супроводжується значним техніко-економічним ефектом, що обумовлює як мотивацію до застосування даних технологій, так і необхідність забезпечення функціонування системи електропостачання шляхом реалізації технічних і технологічних заходів. Технічні ефекти підключення пов'язані як з

безпосереднім додаванням додаткового джерела активної і реактивної потужності, так і з його режимом роботи і топологією реорганізованої системи електропостачання.

Розглядаючи паралельний режим роботи РГ з централізованою енергетичною системою (ЦЕС), до уваги приймаються як «зовнішні» аспекти впровадження, пов'язані з параметрами системи зовнішнього електропостачання і роботою системного оператора, так і «внутрішні» аспекти, пов'язані з характеристиками і параметрами систем внутрішнього електропостачання і електрогосподарств споживачів.

Мінімізація втрат досягається за рахунок розташування джерел активної і реактивної енергії в безпосередній близькості від споживачів, і, як наслідок, зменшення перетоків потужності по протяжним лініям електропередачі від централізованих генеруючих станцій. Здебільшого, розподілені генератори працюють в індуктивному режимі з коефіцієнтом потужності 0,8-1,0; однак при застосуванні синхронних генераторів і інвертерів можлива робота в ємнісному режимі. Тоді принцип вибору розташування РГ для зниження втрат електроенергії аналогічний принципам розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.

Вплив РГ на характеристики напруги і його регулювання.

Підключення РГ може впливати на характеристики напруги в СЕС за рахунок ряду причин, пов'язаних як безпосередньо з самими енергоблоками, так і з особливостями їх паралельної роботи з системою, координацією і синхронізацією параметрів при проектуванні і включенні.

Паралельна робота енергоблоків з СЕС передбачає направлення перетоків потужності як в сторону навантаження, так і в бік енергосистеми. При однонаправленому потоці регулювання напруги здійснюється декількома способами: за допомогою регулювання перемиканням відпайок трансформаторів (під навантаженням або без збудження) і автотрансформаторів; з допомогою вольтододаткових трансформаторів і лінійних регуляторів; з допомогою

регулювання параметрів СЕС (живильної мережі); за допомогою регулювання величини вироблюваної реактивної потужності.

Джерело живлення РГ, підключений до силового трансформатора, який живить деяку навантаження, може підняти рівень напруги на вторинній стороні, що призведе до перенапруження у електроприймачів [18]. Це відбувається, якщо силовий трансформатор підключений до мережі в точці з рівнем напруги вище фіксованого нормативного або близьким до нього. З огляду на підключення додаткового джерела і зниження втрат, при відсутності компенсує модифікації параметрів існуючої СЕС, відбувається зміна балансу реактивної потужності, в результаті чого в поточних умовах і для заданих параметрів мережі рівень напруги буде підвищуватися.

Основну частку малопотужних енергоблоків РГ становлять установки, які підключаються до розподільної мережі за допомогою інверторів, забезпечують регулювання параметрів РГ в ТОС. Зокрема, до таких енергоблоків відносяться генератори на ВДЕ, мікротурбінні установки. Виділяються три стратегії інверторного регулювання.

Велика частина інверторних установок є джерелами струму, що працюють при одиничному коефіцієнті потужності [19]. Енергоблоки з такою стратегією регулювання є тільки джерелами активної потужності і не надають позитивного впливу на регулювання напруги в мережі. При застосуванні інверторів напруги можливі два варіанти. По-перше, установка може виробляти реактивну потужність, обмежену підтримкою встановленого коефіцієнта потужності і максимального рівня виробленої повної потужності. По-друге, може забезпечуватися допустимий рівень напруги на виході РГ. В останньому випадку можливості регулювання обмежені максимальною виробленою реактивною потужністю. Вплив способу регулювання РГ також відзначено: при незалежному від навантаження регулюванні параметрів енергоблоків може спостерігатися невідповідність локальних коливання навантаження і генерації, при цьому максимальні рівні напруги можуть збільшитися.

Асинхронні генератори (АГ) знаходять широке застосування в технологіях РГ (міні-ГЕС, мікротурбіни і малопотужні газопоршневі установки) в сенсі простоти і дешевизни, проте мають ряд недоліків, позначаються на параметрах напруги в розподілених СЕС. Основним з них є значне споживання реактивної потужності, яке призводить до необхідності додаткового застосування компенсуючих пристроїв з гнучким регулюванням, особливо для електропостачання споживачів з змінним графіком навантаження.

Вплив РГ на параметри якості електроенергії:

#### 1) Несінусоїдальність напруги

Поряд з електрообладнанням споживачів, РГ може бути джерелом вищих гармонійних складових у кривій напруги. Вищі гармоніки можуть вироблятися безпосередньо в генераторі або в обладнанні силової електроніки: інверторах, випрямлячах. Інвертори використовуються для підключення багатьох РГ, заснованих на поновлюваних джерелах енергії, а також паливних елементів. Їх внесок у гармонійний склад частково обумовлений напівпровідниковими керованими вентилями (тиристорами), що видають в мережу високий рівень вищих гармонік. На сьогоднішній день, проблема вирішується використанням інверторів, побудованих на базі ЮВТ-транзисторів, що використовують широтноімпульсну модуляцію для створення «чистої» синусоїдальної кривої [20]. Обертові генератори є іншим джерелом вищих гармонік; їх здатність виробляти гармоніки залежить від типів їх обмоток (кроку обмотки), нелінійності магнітопроводу (сердечника), заземлення та інших факторів, що впливають на поширення гармонік. Порівнюючи різні типи обмоток генераторів, можна відзначити, що найкращою конфігурацією є така з кроком  $2/3$ , що є найменшим виробником третьої гармоніки, часто превалює в складі. З іншого боку, обмотки з кроком  $2/3$  мають менший повний опір і можуть бути причиною більшого гармонійного струму, який протікає через інші джерела, що працюють паралельно. Таким чином, заземлюючих пристроїв генераторів і підвищувальних трансформаторів будуть мати вирішальне значення в обмеженні поширення

гармонік з фідера. Системи заземлення можна вибирати із завдань зниження частки третьої гармоніки в системі. Це призведе до її виділенню тільки на стороні РГ. Для цього завдання на практиці застосовується з'єднання обмоток трансформаторів в трикутник, для випадків бестрансформаторного підключення РГ до мережі - застосування розділових трансформаторів з обмотками «зірка/трикутник» (Y / D).

Звичайно, вплив РГ на гармонійний склад не такий великий, як в порівнянні з іншими складовими проблемами. Однак виникає ряд проблем, пов'язаних з резонансом з батареями конденсаторів або з взаємодією з обладнанням, чутливим до гармонік. У гіршому випадку, РГ доведеться відключити внаслідок перегріву обладнання струмами вищих гармонік.

Відповідно до стандарту IEEE 519-2014, а також стандарту підключення РГ IEEE 1547 [20], до розподілених генераторів застосовні наступні вимоги в ТОС (див. таблицю 1.2).

Таблиця 1.2 - Вимоги до гармонійного складу вихідного струму розподілених генераторів [21]

Номер гармоніки, $h$	Допустимий рівень по відношенню до першої (для непарних гармонік), %
$h \leq 11$	4
$11 \leq h < 17$	2
$17 \leq h < 23$	1,5
$23 \leq h < 35$	0,6
$h \geq 35$	0,3
Сумарний рівень гармонічного викривлення	5

Межі нелінійних викривлень кривої напруги складають 5% для сумарної несинусоїдальності і 3% для кожної окремої гармоніки.

2) Відхилення і коливання напруги.

Причиною виникнення коливань напруги при впровадженні РГ є джерела живлення з переривчастими характеристиками, до яких відносяться вітрові та фотоелектричні генеруючі установки. Коливання напруги в розподілених СЕС також є наслідком миттєвих скидів і накидів навантаження.

Провали напруги при роботі РГ можуть спостерігатися як через нерівномірності графіка вироблюваної потужності енергоблоків з відновлювальними джерелами електроенергії, так і в разі застосування установок з асинхронними двигунами, що споживають значну реактивну потужність при пуску. Як було сказано раніше, рішенням даної проблеми є підключення статичних компенсаторів з гнучким регулюванням. Ще однією причиною провалів є робота системної автоматики (АПВ, АВР) при перемиканні між централізованим і розподіленим електропостачанням [22]. Проблема коливань напруги може бути вирішена шляхом підвищення потужності енергоблоків, управлінням виробленням активної і реактивної потужності і активним регулюванням напруги, а також застосуванням накопичувачів енергії для поновлюваних джерел, що дозволяють згладити впливи в системі. Іншим рішенням є створення гібридних енергоблоків РГ, які суміщають, поряд з накопичувачами електричної енергії (ЕЕ), установки з поновлюваними і невідновлюваними джерелами енергії [22]. Передбачається застосування загальної системи регулювання, використання загального перетворювача, що дозволяють забезпечувати високу якість генерується електроенергії. Припустимо також застосування екстенсивних методів, до яких відноситься розширення пропускної здатності розподільних мереж, зокрема - за рахунок заміни провідників з метою зменшення втрат, а також виділення РГ на окрему лінію для конкретного споживача.

### 3) Несиметрія напруги.

Значна частка малопотужних однофазних генераторів, заснованих переважно на технологіях відновлювальних джерел електроенергії (вітрових і фотоелектричних), в розподілених СЕС є причиною несиметрії напруги.

Особливо дана ситуація актуальна для віддалених районів в пріоритеті цивільних споживачів, приватних домогосподарств.

Висновок: На закінчення можна зробити наступний висновок в тому, що максимально допустима кількість РГ, які можуть бути підключені до розподіленої мережі без шкоди до нормальної роботи, відносяться досить конкретним для кожного випадку і залежать від конкретних обставин, пов'язаних з функціями, як РГ так і мережі. Розробки в області РГ українських і зарубіжних виробників дозволяють говорити про те, що сучасні технологічні установки РГ мають досить високу ефективність і при оптимальному розміщенні в розподільній мережі не роблять негативного впливу на неї.

### **Висновки до розділу**

1. До РГ належать установки малої потужності (до 25 МВт), що знаходяться безпосередньо поруч з споживачем та можуть бути підключенні до енергосистеми. До РГ належать об'єкти когенерації, системи відновлювальних джерел, дизельгенератори, фотоелектричні елементи.

2. Взаємна робота даних джерел електричної енергії призводить до появи гармонік, субгармонік, інтергармонік, які згенеровані розосередженими джерелами енергії та суттєво впливають на якість електричної енергії, зокрема на дозу флікера.

3. Аналіз якості електричної енергії без врахування впливу інтергармонік на рівні електромагнітної сумісності у промислових електричних мережах є новим.

4. Як показано в розділі 1 даної роботи причин виникнення інтер- та субгармонік призводить до значних змін якості електричної енергії і повинні бути вивчені їх причини появи, методи та засоби їх вимірювання, нормування та зниження рівнів. Це і досліджується в даній роботі.



## 2 ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

### 2.1 Побудова електричної мережі із наявністю джерел розосередженої генерації

Інтеграції джерел розосередженої генерації в систему електропостачання (особливо нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії), є важливим питанням ефективності використання енергетичного потенціалу таких джерел. Кожне із джерел, що виробляє електроенергію, через певні особливості своєї роботи, має проблеми сумісної роботи, внаслідок чого постає проблема оптимального відбору електроенергії від цих джерел та проблема оптимального споживання виробленої електроенергії електроустановками споживачів.

В цьому розділі за допомогою Matlab Simulink створено модель електросистеми із використанням джерела розосередженої генерації (рисунок 2.1):

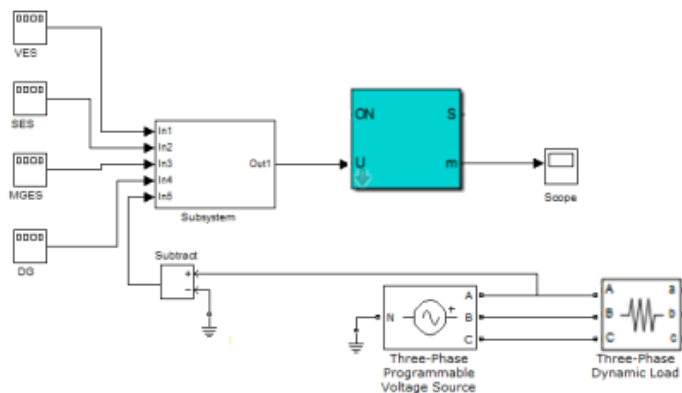


Рисунок 2.1 - Схема моделі електросистеми

Дана модель являє собою трьохфазну електроенергетичну систему, що складається з генераторів напруги, що моделюють процеси мережі та трьохфазного навантаження. На одну з фаз паралельно підключено блоки, що моделюють параметри джерел РГ (параметри нормального режиму, вищі

гармоніки), а саме сонячної електростанції, дизель-генератора, вітроелектростанції та малої гідроелектростанції. До виходу генераторів підключено вимірювальну підсистему, що дозволяє оцінити гармоніки в системі, що генеруються різними джерелами.

Блок «Programmable voltage source» формує сигнал джерела синусоїдальної напруги з вимірами  $U=220$  В,  $f=50$  Гц.

Блок «Load» – навантаження  $R=10$  Ом.

Блоки «DG» (дизельгенератор), «VES» (вітроелектростанція), «SES» (сонячна електростанція), «MGES» (мала ГЕС) моделюють завади, що генерують альтернативні джерела електричної енергії.

SES та VES мають синусоїдальну форму сигналу.

MGES має форму square, що показано на рисунку 2.2.

DG має форму сигналу sawtooth, що показано на рисунку 2.3.

Блок «Programmable voltage source» створює ідеальну синусоїду і живить навантаження «Load». За допомогою вольтметра виконується вимірювання напруги та в блоці Subsystem об'єднується отриманий сигнал з перешкодами, що задаються блоками DG, VES, SES, MGES і сумарний сигнал розкладається в блоці Digital Flickermeter. З флікерметра отримані дані виводяться на осцилографи.

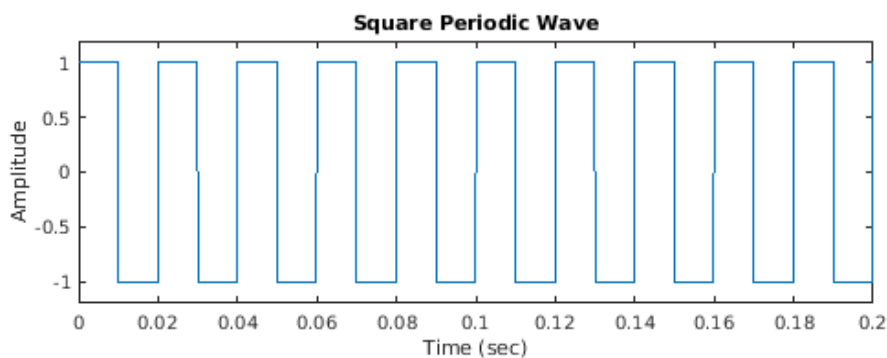


Рисунок 2.2 – Форма сигналу square

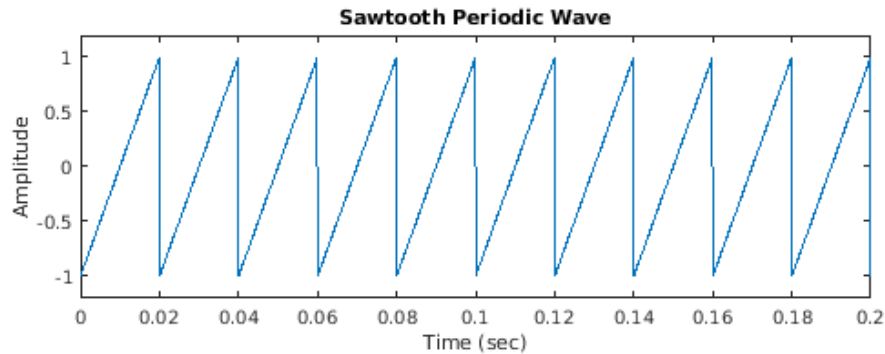


Рисунок 2.3 – Форма сигналу sawtooth

Всі схеми джерел електроенергії складаються з різних видів сигналів. Наприклад, сонячні панелі мають синусоїдальну форму сигналу та найбільший рівень завад 2,8%, вітрові установки використовуються з рівнем перешкод 10%, які по'єднані через електропривід та 2,8% через інвертор з прямокутноюта синусоїдальною формою сигналу. Мала гідроелектростанція має форму сигналу меандру та 7,3% рівень завад. У роботі використовується дизель-генератор з пилоподібним сигналом та рівнем завад 10% та мережа з відхиленням напруги 10% та випадковими сигналами.

Digital Flickermeter – модель флікерметра, що відповідає вимогам стандарту ІЕС-61000-4-15 [7] зображена на рисунку 2.4.

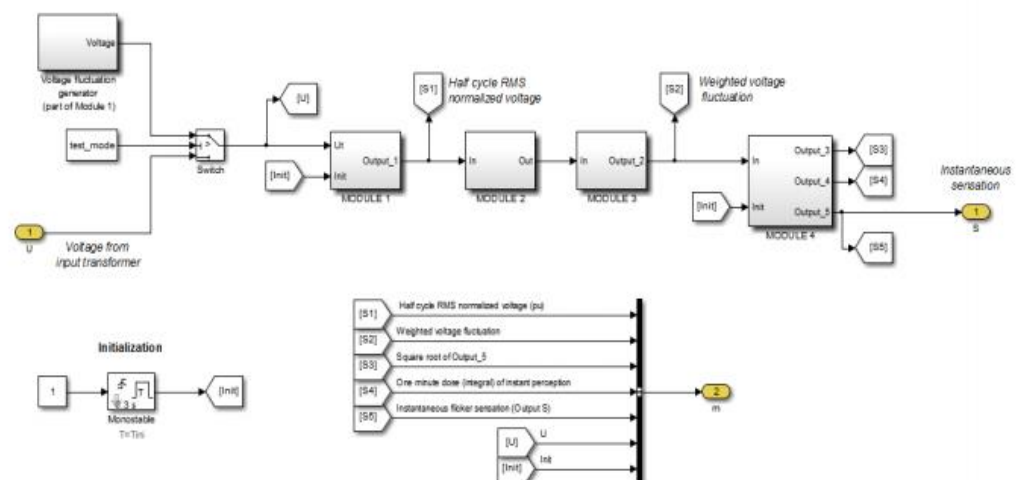


Рисунок 2.4 – Модель флікерметра

Архітектура флікерметра описується блок-схемою на рисунку 2.4 і виконує наступне завдання: моделювання реакції ланцюга «лампа-око-МОЗОК».

Блок 1 (Module 1) це адаптер напруги. Блок 1 містить генератор сигналів для контролю калібрування флікерметра в ході використання і адаптації вхідної напруги, що доводить середньоквадратичне значення вхідної напруги основної частоти до внутрішнього опорного рівня напруги обладнання. Тобто, заміри флікера можуть бути виконані незалежно від реального рівня напруги на вході обладнання і представлені у відсотковому відношенні. Відводи на вхідному трансформаторі необхідно вибрати так, щоб отримати сигнал на вході адаптера напруги в допустимих межах.

Блок 2 (Module 2) це квадратичний демодулятор. Блок 2 призначений для відновлення коливання напруги зведенням до квадрату вхідної напруги, змаштабованого до контрольного рівня, тобто, для відтворення характеристик лампи.

Блок 3 і 4 (Module 3 and 4) це зрівноважуючий фільтр, фільтр високих і низьких частот, квадратичний підсилювач. Блок 3 має два фільтра та селектора діапазона вимірювання, ввімкнених.

Перший фільтр усуває складові пульсації постійного струму і подвійної частоти мережі (100 Гц).

Другий фільтр є блоком, який виконує функцію урівноваження, що моделює частотну характеристику при синусоїдальній флуктуації напруги газонаповненої лампи зі спіральною розжарення (60 Вт, 230 В) в поєднанні із зоровою системою людини. Межа сприйняття людиною коливань світлового потоку відповідає частотна характеристика фільтру.

Необхідно зауважити, що контрольна лампа розжарювання для систем на 100 В матиме іншу частотну характеристику і потребує відповідного налаштування врівноважуючого фільтру. Характеристики газорозрядних ламп абсолютно різні, і суттєві зміни стандарту необхідні.

Блок 4 складається зі зведеного до квадрату множника і низькочастотного фільтру першого порядку. Сприйняття людиною флікера,

зважаючи на характеристики лампи, очей і мозку, моделюється поєднанням нелінійної характеристики, що виконується блоками 2, 3 і 4.

Крім того, робота блоку 3 заснована на граничній кривій сприйняття людиною при синусоїдальних коливаннях напруги; вірне врівноваження при несинусоїдальних і стохастичних коливаннях напруги отримується шляхом вибірки комплексної передавальної функції для блоків 3 і 4. Отже, вірне функціонування приладу відбувається також при періодичних коливаннях напруги, які мають форму меандру, і при коливаннях напруги перехідного характеру.

Вихід блоку 4 створюється миттєве значення флікера. [14]

## **2.2 Дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією**

У даній роботі проводиться аналіз схем з різними джерелами розосередженої генерації, які мають різні сигнали завад. Розгляду підлягають фотоелектричні елементи, вітрові установки, малі ГЕС, дизель-генератори та безпосередньо мережа електроживлення.

Вхідні дані для першого дослідження зображені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані для першого дослідження

	1-ша гармоніка (50 Гц), В	3-я гармоніка (150 Гц), В	5-а гармоніка (250 Гц), В
СЕС	220	4,7 (2,1%)	2,5 (1,1%)
ДГ	220	16,3 (7,4%)	7,7 (3,5%)
ВЕС	220	12,9 (5,9%)	8,3 (3,8%)
МГЕС	220	10 (4,5%)	4,6 (2,1%)

Коментар до таблиці 2.1:

СЕС – сонячна електростанція

ДГ – дизель генератор

ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція

Вказавши такі дані перешкод, що створюють альтернативні джерела електричної енергії отримано результати, які зображено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Результати досліджень

№	Тип джерела е/е	Гармоніки	$P_{st}$
1	ВЕС	1+3	0,0103
2	ВЕС	1+5	0,0104
3	ВЕС	1+3+5	0,0104
4	СЕС	1+3	0,0104
5	СЕС	1+5	0,0104
6	СЕС	1+3+5	0,0104
7	МГЕС	1+3	0,0104
8	МГЕС	1+5	0,0108
9	МГЕС	1+3+5	0,0109
10	ДГ	1+3	0,0104
11	ДГ	1+5	0,0105
12	ДГ	1+3+5	0,0105

Коментар до таблиці 2.2:

№ - номер дослідження.

Характеристика - різновид альтернативних джерел електроенергії або їх поєднання.

Гармоніки - гармоніки, які створюють зазначені джерела (амплітуда приведена у таблиці 2.1).

$P_{st}$  – короткочасна доза флікера.

Висновки до досліді 1.

За результатами досліді 1, можна зробити висновок, що вищі гармоніки значимого впливу на дозу флікера не мають.

### 2.3 Дослідження взаємного впливу різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу флікера

Вхідні дані для другого дослідження показані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вхідні дані для другого дослідження

	1-ша гармоніка (50 Гц), В	3-я гармоніка (150 Гц), В	5-а гармоніка (250 Гц), В
СЕС	220	4,7 (2,1%)	2,5 (1,1%)
ДГ	220	16,3 (7,4%)	7,7 (3,5%)
ВЕС	220	12,9 (5,9%)	8,3 (3,8%)
МГЕС	220	10 (4,5%)	4,6 (2,1%)

Коментар до таблиці 2.3:

СЕС – сонячна електростанція

ДГ – дизель генератор

ВЕС – вітроелектростанція

МГЕС – мала гідроелектростанція

За вказаними даними перешкод, які створюють альтернативні джерела електроенергії, отримано результати, які внесені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати проведених досліджень

№п/п	Тип джерела е/е	Гармоніки	P <sub>st</sub>
1	ВЕС+СЕС	1+3	0,0102
2	ВЕС+СЕС	1+5	0,0103
3	ВЕС+СЕС	1+3+5	0,0103
4	ВЕС+МГЕС	1+3	0,0103
5	ВЕС+МГЕС	1+5	0,0106
6	ВЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106
7	ВЕС+ДГ	1+3	0,0103

Продовження таблиці 2.4

8	ВЕС+ДГ	1+5	0,0104
9	ВЕС+ДГ	1+3+5	0,0106
10	СЕС+МГЕС	1+3	0,0103
11	СЕС+МГЕС	1+5	0,0106
12	СЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106
13	СЕС+ДГ	1+3	0,0103
14	СЕС+ДГ	1+5	0,0104
15	СЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
16	МГЕС+ДГ	1+3	0,0103
17	МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
18	МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
19	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3 +5	0,01032
20	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3+5	0,0106
21	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3	0,0104
22	ВЕС+СЕС+ДГ	1+5	0,0104
23	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3+5	0,0108
24	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3	0,0103
25	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
26	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
27	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104
28	СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	0,0103
29	СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
30	СЕС+МГЕС+ДГ	+3+5	0,0104
31	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	0,0102
32	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	0,0104
33	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	0,0104



Коментарі до таблиці 2.4:

№ - номер дослідження.

Характеристика – різновид альтернативного джерела електричної енергії або їх поєднання.

Гармоніки- гармоніки, що створюють дані джерела (їх амплітуда приведена у таблиці 1).

$P_{st}$  – короткочасна доза флікера.

Висновки до досліді 2

За результатами досліді 2, можна зробити висновок, що вищі гармоніки при взаємному впливі значимого впливу на дозу флікера не мають.

## 2.4 Дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань

Вхідні дані для третього дослідження зображено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для третього досліді

	Частота коливань, Гц	Амплітуда коливань, В
СЕС	61	0,25
ДГ	54	0,31
ВЕС	64	0,322
МГЕС	52	0,22

Вказавши зазначені значення перешкод, які створюють альтернативні джерела електроенергії, отримано результати, які були внесені до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати проведених досліджень

№	Тип джерела е/е	$P_{st}$
1	СЕС	0,5233
2	ДГ	0,1936

Продовження таблиці 2.6

3	ВЕС	0,5771
4	МГЕС	0,1749
5	СЕС+ДГ	0,7069
6	СЕС+ВЕС	1,0891
7	СЕС+МГЕС	0,6879
8	ДГ+ВЕС	0,7609
9	ДГ+МГЕС	0,3581
10	ВЕС+МГЕС	0,7438
11	СЕС+ДГ+ВЕС	1,2733
12	СЕС+ДГ+МГЕС	0,8709
13	СЕС+ВЕС+МГЕС	1,2587
14	ДГ+ВЕС+МГЕС	0,9281
15	СЕС+ДГ+ВЕС+МГЕС	1,4373

Висновки: За результатами дослідження (таблиця 2.6) можна зробити висновок, що на дозу флікера мають суттєво більший вплив інтергармонічні коливання напруги. Альтернативні джерела, з вхідними даними, що приведені у таблиці 2.3, можна застосовувати з точки зору дози флікера ( $P_{st}$  не перевищує 1) отримуючи якісну електричну енергію. Результати показують, що одночасне застосування дизель-генератора та сонячної електростанції або вітроелектростанції або малої гідроелектростанції є допустимим ( $P_{st}$  не перевищує 1), а, наприклад, малої гідроелектростанції та сонячної електростанції разом з вітроелектростанцією є недопустимим ( $P_{st}$  перевищує 1).

Таблиця 2.7 – Вихідні дані для четвертого досліду

	Частота коливань, Гц	Амплітуда коливань, В
СЕС	39	0,2011
ДГ	25	0,65
ВЕС	34	0,317
МГЕС	28	0,337

Таблиця 2.8 – Результати проведених досліджень

	Тип джерела е/е	$P_{st}$
1	СЕС	0,561
2	ДГ	0,5410
3	ВЕС	0,5784
4	МГЕС	0,4052
5	СЕС+ДГ	1,0733
6	СЕС+ВЕС	1,1103
7	СЕС+МГЕС	0,9321
8	ДГ+ВЕС	1,1095
9	ДГ+МГЕС	0,9347
10	ВЕС+МГЕС	0,9743
11	СЕС+ДГ+ВЕС+МГЕС	2,0392

За результатами можна зробити висновок, що зазначені субгармонійні коливання з амплітудами не перевищують межі норми. Тобто, доза флікера менше одиниці. Проте, спільне використання джерел з зазначеними субгармонійними коливаннями дозволяється тільки в окремих випадках (якщо  $P_{st}$  менше 1).

### **Висновок до розділу**

Результати показують, що при певному поєднанні завад на однойменних та різнойменних гармонічних складових енергетичних процесів різнорідних типів генераторів (джерел РГ) може виникати взаємокомпенсація або взаємопідсилення тієї чи іншої гармонічної складової в навантаженнях.

### **3 ВИЗНАЧЕННЯ ГАРМОНІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТУПЕНЮ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ СИГНАЛУ**

#### **Огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу**

Існує безліч методів аналізу форми хвилі струму і напруги. Найефективнішим методом вважають той, який дає найточніший та швидкий результат. Одним із найбільш популярних методів виконання гармонічного аналізу є дискретне перетворення Фур'є.

Метод дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) полягає у тому, що будь-яку періодичну функцію можливо зобразити у вигляді суми деяких гармонічних складових (синусоїд і косинусоїд з різними амплітудами, частотами) – розкладання в ряд Фур'є. Для збільшення швидкості проведення ДПФ розроблено послідовність швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). На даний час цей алгоритм широко застосовується практично в усіх сферах обробки інформації. Однак послідовності Фур'є мають кілька методичних відхилень, які в результаті дають неточність гармонічного аналізу [24]. Основними недоліками є обмеженість частотного розподілення і правильності оцінки частоти деяких гармонічних складових. В першому випадку – дозволяюча здатність розділення двох спектральних складових з близькими частотами, а в другому – правильність визначення частоти відокремленою гармонічною складовою. Для покращення точності виконання ШПФ використовується додаткові математичні операції. Наприклад, для уникнення ефекту розсіювання [25] (у випадку коли довжина вибірки сигналу нерівна періоду функції, яку аналізують) виконується синхронізація частоти дискретизації з частотою досліджуваного сигналу, доповнення нулями початкової вибірки аналізованого сигналу, або застосування часових чи спектральних вікон [26]. Дієвим засобом зниження ефекту спектральних

витоків є використання віконних функцій з інтерполяційним алгоритмом [27, 28].

Однак всі засоби не підвищують частотну подільність. Наприклад, використання спектральних або часових вікон знижує ефект розсіювання за рахунок зниження частотного розподілення (при неврахуванні частки інформації про функцію, яка аналізується), а при доповненні первинної вибірки нулями, підвищується вибіркковість оцінювання частот вузькосмугових спектральних піків внаслідок зниження нерівномірності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і неточностей, які залежні від її нерівномірності.

Не так давно появились праці, щодо удосконалення існуючих методів формулювання якісних характеристик електроспоживання в цілому, і гармонійного аналізу, окремо.

У зв'язку з постійним збільшенням кількості задач в галузі електроенергетики, які вимагають рішення з використанням сучасних математичних методів і технічних засобів, досить актуальним є пошук шляхів удосконалення існуючих методів визначення якісних характеристик електроспоживання та гармонічного аналізу.

В роботах [14,29] наведено просторово-часову модель знаходження амплітуди і фази основної частоти, її гармонік у реальному масштабі і несинусоїдальних режимах. Отримані ефективні дослідження щодо знаходження середньоквадратичних значень гармонік [30, 31]. Крім того, використовують фільтр Кальмана для оцінки гармонічного складу сигналу. Зазначений метод запропонований в [32], характеризується як модель в просторі станів для відслідковування амплітуди і фази основної частоти, її гармонік. Для виконання гармонічного аналізу використовують різні підходи: метод найменших квадратів [33], Проні [34], статистичного аналізу [35, 25] гребінчастих фільтрів та інші.

В даний час загальне поширення отримало вейвлет-перетворення, у якому використовуються спеціальні функції апроксимації, які називають материнськими вейвлетами. Вейвлет  $\Psi$  - це функція з нульовим середнім значенням ,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3.1)$$

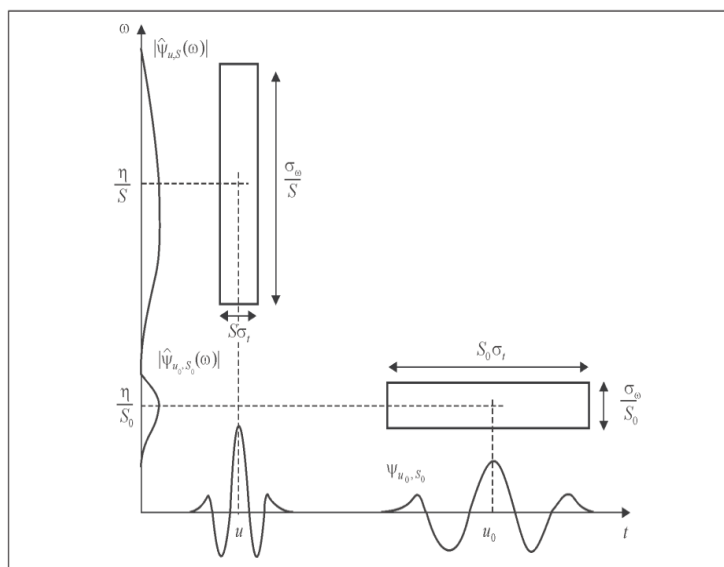


Рисунок 3.1 – Частотно-часовий прямокутник для вейвлетів  $\Psi_{u,S}$  та  $\Psi_{u_0,S_0}$  є параметром розтягування  $S$  та параметром зсуву  $u$  [36]:

$$\psi_{u,S} = \frac{1}{\sqrt{S}} \psi\left(\frac{t-u}{S}\right) \quad (3.2)$$

Вейвлет-перетворення функції  $f$  з масштабом  $S$  і зсувом  $u$  обчислюється кореляцією  $f$  з вейвлет-атомом:

$$Wf(u, S) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{S}} \psi^*\left(\frac{t-u}{S}\right) dt, \quad (3.3)$$

де  $\Psi^*$  - комплексно сполучений вейвлет.

Застосувавши формулу Парсеваля, вираз (3.3) запишемо у вигляді інтегралу по частоті:

$$Wf(u, S) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\omega) \frac{1}{\sqrt{S}} \psi_{u,S}^* d\omega. \quad (3.4)$$

Як видно з (3.4), вейвлет-коефіцієнт  $Wf(u, S)$  залежить від знячення  $f(t)$  та  $f(\omega)$  в частотно-часовій межі, де зосереджені енергії  $\psi_{u,S}$  і  $\psi_{u,S}^*$ . Зміни в часі гармонічних складових можна виявити по зсуву та масштабу вейвлет-коефіцієнтів найбільшої амплітуди.

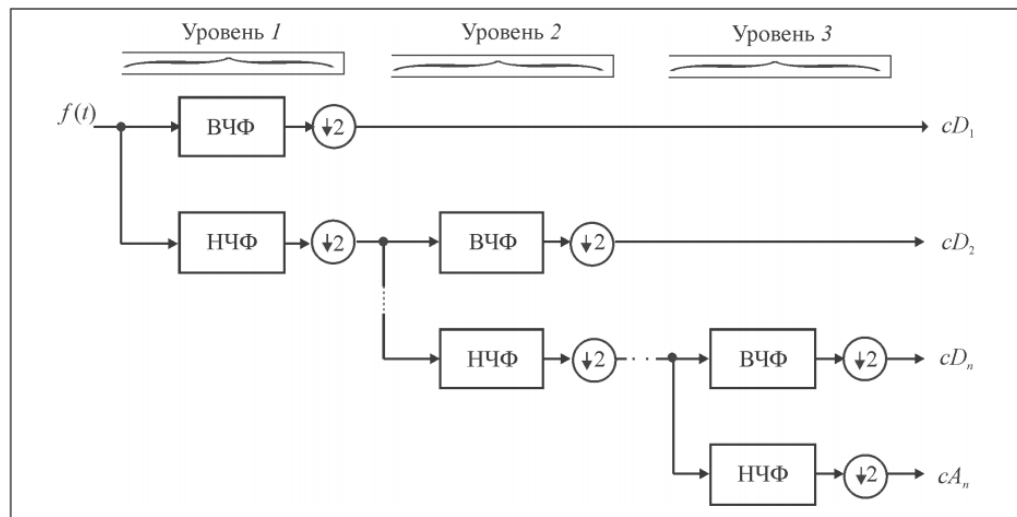


Рисунок 3.2 - Дерево вейвлет-розкладення по алгоритму Малла: ВЧФ та НЧФ- високочастотний і низькочастотний фільтри; - децимація (зменшення числа коефіцієнтів в два рази) [37]

З рисунку 3.1 видно, що при зменшенні масштабу  $S$  носій стає меншим по часу, але тривалість по частоті збільшується, і прямокутник Гейзенберга переходить в область високих частот. При цьому площа прямокутника залишається постійною. Теоретично безперервне вейвлет-перетворення (БВП) складається з безкінечного числа різних вейвлетів, які утворюються в результаті модифікації коефіцієнтів масштабу і часу оригінальним матиринським вейвлетом. Відповідно, технологія БВП можлива для проведення аналізу сигналів з високою роздільною здатністю і є основою для визначення їх параметрів.



Відомі два основних підходи до визначення гармонік і флікера за допомогою вейвлет-аналізу. Перший базується на коротко-масштабному аналізі (КМА) з використанням банку вейвлет-фільтрів на першому кроці та застосуванням БВП підгруп на другому кроці, другий – на використанні комплексного вейвлет-перетворення або БВП.

Перший підхід ідентифікації гармонік в електромережах на базі використання комбінації дискретного вейвлет перетворення (ДВП) та БВП відносно кількісної оцінки частотних гармонік, їх амплітуди та фази наведенні в роботі [14].

На першому кроці виконано декомпозиція частотного спектру на два піддіапазона на основі ДВП за допомогою функції Добеші високих порядків.

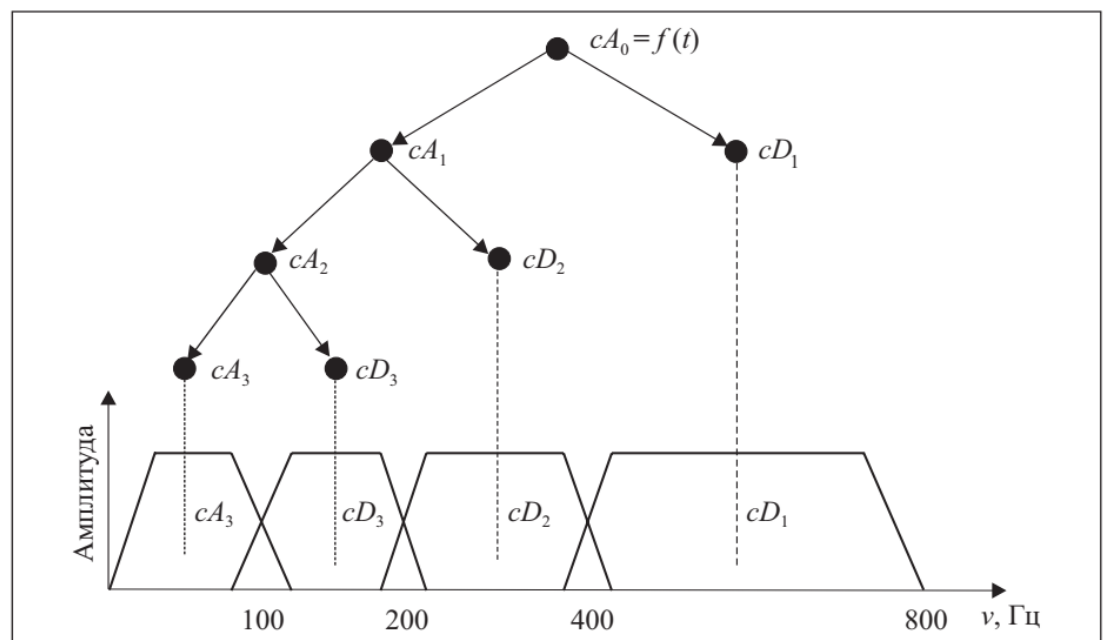


Рисунок 3.3 - Нерівномірні частотні смуги КМА[30]

На другому кроці застосовано БВП до ненульових діапазонів. Зазначений метод успішно компенсує частотні недосконалості фільтру при використанні банку вейвлет-фільтрів.

В більш пізніх роботах [31-39] описано застосування вейвлет-аналізу для вдосконалення АЧХ фільтрів, аналізу субгармонік, використання

трапеціїдальної комплексної вейвлет-функції, різних видів материнських вейвлетів.

Швидке вейвлет перетворення по алгоритму Малла [41] являє собою КМА (рисунок 3.2). при переході з рівня 0 на рівень 1 вхідна функція  $f(t)$  за допомогою високочастотних фільтрів та низькочастотних фільтрів розділяються на частотні полоси, які характеризуються апроксимуючими  $sA_i$  і деталізуючими  $sD_i$  коефіцієнтами. При переході з рівня 1 на рівень 2 апроксимуючі коефіцієнти в свою чергу розділяються за допомогою фільтрів на низькочастотні (апроксимуючі) та високочастотні (деталізуючі) коефіцієнти (рисунок 3.3) [42].

По данному алгоритму можливо визначити середньоквадратичні величини струму, напруги і потужності [43, 44], проте він не дозволяє визначити середньоквадратичне значення струму, напруги та потужності окремих гармонічних компонентів. Тому в даний час для проведення гармонійного аналізу використовується пакетне вейвлет-перетворення. При застосуванні пакетного вейвлет-перетворення декомпозиції піддаються як деталізуючі коефіцієнти так і апроксимуючі на всіх рівнях і, відповідно, це утворює рівномірнорівневі частотні діапазони (рисунок 3.4).

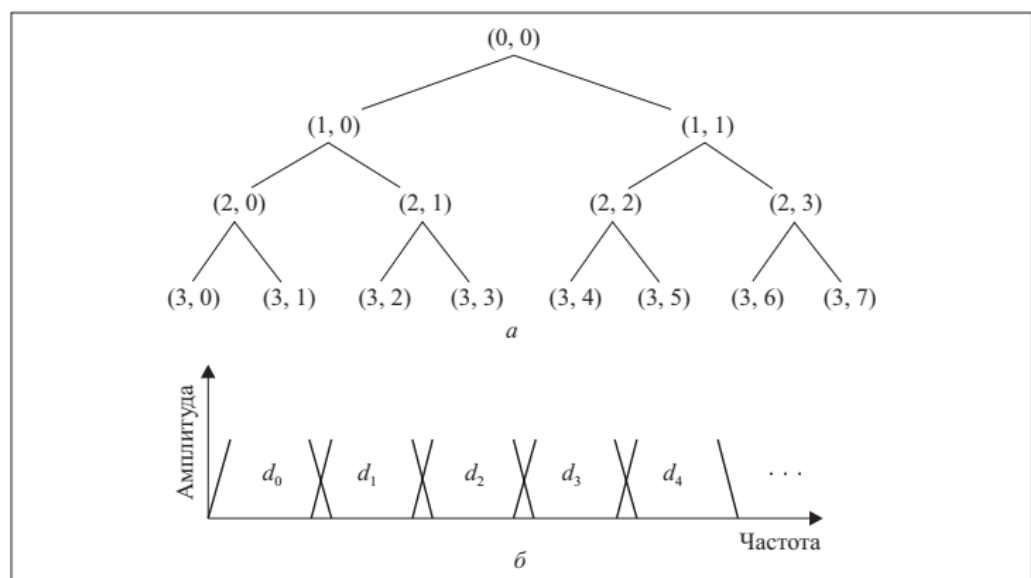


Рисунок 3.4 – Дерево декомпозиції (а) та частотні смуги (б) [37]

Можливості застосування пакетного вейвлет-перетворення для проведення часово-частотного гармонічного аналізу показані в багатьох роботах. Зокрема, для підвищення швидкодії, точності визначення гармонік, виключення спектральних витоків використовується різні способи, заснованні на перетворенні Гільберта [45], застосування різного роду фільтрів [46], комбінації декількох методів [47]. В [44, 48] визначена контрольно-вимірювальна апаратура для вимірювання гармонік та інтергармонік електричного струму та напруги в системах електропостачання. В якості методу вимірювання пропонується використання ДПФ з застосування часового вікна Хеннінга при втраті синхронізації. При цьому довжина часового інтервалу вимірювання повинна бути рівна десяти періодам основної частоти при прямокутної вікні зважування. Можливі інші способи аналізу, а саме: використання банків цифрових фільтрів, вейвлет-перетворення.

Вперше вейвлет-аналіз в електричних мережах був запропонований в 1994 році Р. Riberio [28]. Вейвлет-аналіз відрізняється від перетворень Фур'є тим, що під час виміру частотно-часових змін спектральних компонентів інформаційного сигналу має іншу частотно-часову роздільність. Тому, у роботі виконаний порівняльний аналіз розрахунку гармонічних компонент з використанням ДПФ і вейвлет-аналізу згідно вимог [41, 49].

За ствердженнями [31, 42], для забезпечення точнішого представлення гармонік при нелінійних навантажень в системі електромереж, до групи гармонік приєднуються проміжні спектральні лінії. В цей час, середньоквадратичне значення гармонічної групи буде рівне квадратному кореню з суми квадратів середньоквадратичних значень гармонічної складової та спектральних складових, що приєднуються до неї, які відповідають цьому періоду тимчасового інтервалу виміру. Отже, для оцінювання гармонік результати виконання ДПФ повинні бути згруповані згідно наступної формули [37]:

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2}, \quad (3.5)$$

де  $G_n$  – середньоквадратичне значення гармонійної групи порядку  $n$ ;  
 $C_{k+i}$  – середньоквадратичне значення спектральної складової відповідної частотної позиції ДПФ;

$n$  – порядок гармоніки рівний  $k/n$ ;

$k$  – компонент Фур'є;

$N$  – число періодів у вікні годині вимірів ( $N=10$ ).

У зв'язку з тим, що момент взаємної кореляції між гармоніками рівний нулю, можливо підсумовування квадратів поточних значень.

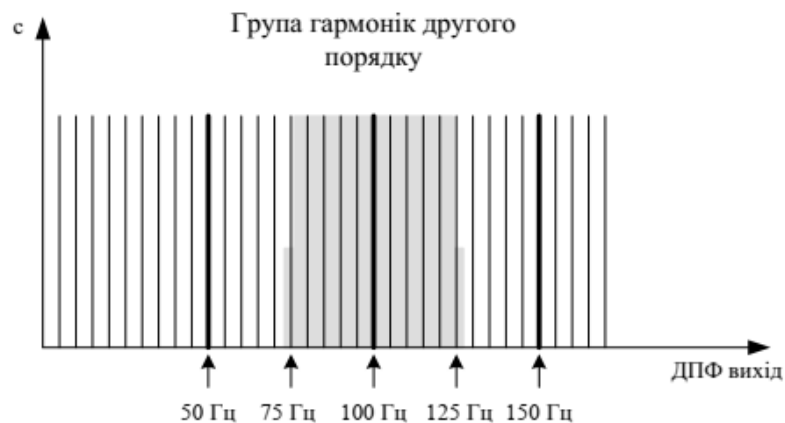


Рисунок 3.5 – Схема утворення гармонічної групи [30]

Середньоквадратичне значення гармонічної підгрупи буде рівне квадратному кореню з суми квадратів середньоквадратичних значень гармонійної складової та двох спектральних складових, що прилягають до неї (рис. 3.6)

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \quad (3.6)$$

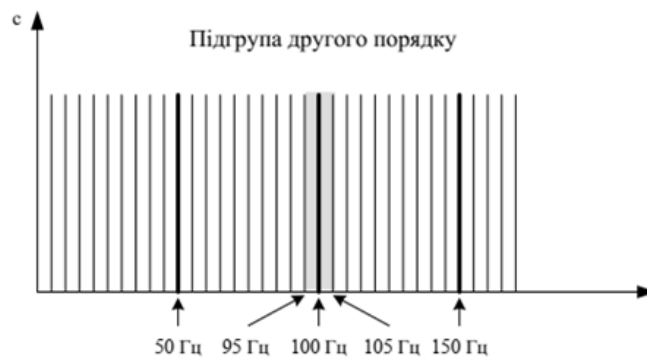


Рисунок 3.6 – Схема утворення підгрупи [30]

Математичне визначення гармонік та інтергармонік відповідно до Стандарту МЭК 61000-2-2 представлено в таблиці (3.1)

Таблиця (3.1) – Математичне визначення гармонік, інтер-субгармонік (підгармонік)

Гармоніка	$f = nf_1$ , де $n \in \mathbb{Z}$ , $n > 0$
Компонента постійного струму	$f = nf_1$ , де $n = 0$
Інтергармоніка	$f \neq nf_1$ , де $n \in \mathbb{Z}$ , $n > 0$
Суб(під)гармоніка	$f > 0$ Гц та $f < f_1$

$f_1$  – основна частота

Інтергармонічна частота – люба частота, яка не кратна основній частоті. По аналогії із порядком кратності гармонік порядок інтергармонічної частоти заснований по відношенню до основної частоти. Якщо це відношення менше одиниці, то таку гармонічну частоту називають субгармонічною.

Послідовність визначення гармонічних груп згідно [38, 43] є наступною. Як відомо [41], гармонійний аналіз треба виконувати до 50 гармоніки, що при частотному розподіленні 5 Гц, часовому періоді 200 мс та необхідності дотримання умов теореми Шенона (Котельникова) спричиняє частоту дискретизації вхідного сигналу 6,4 кГц і вейвлет-розкладання до  $j = 7$  рівня [30].

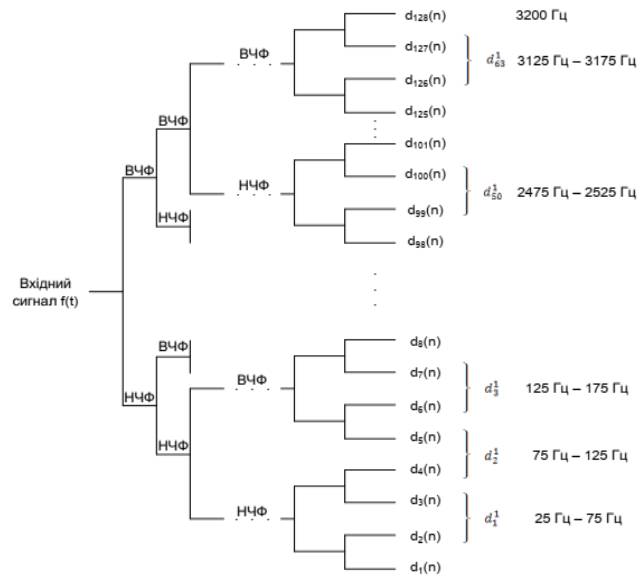


Рисунок 3.7 – Дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних смуг (діапазонів):  $d_1(n)$ ,  $d_{128}(n)$  – вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання (частотні смуги шириною 3200/128-25 Гц)[30]

Згрупуємо на 63 групи  $(d_{63}^1)$  згідно (3.1) вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання, з кожною складовою частоти гармоніки (парних, непарних) з інтервалом 50 Гц в центрі групи. Порахуємо середньоквадратичне значення для кожної групи як квадратний корінь з середнього квадрата коефіцієнтів двох підгруп, що належать до кожної групи, згідно [32,33]. Наприклад:

$$x_{сркв}(1) = \sqrt{\frac{1}{2}(d_1')^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(d_2(n) + d_3(n))^2}. \quad (3.7)$$

Вцілому середньоквадратичне значення сигналу кожного вузла  $(j, p)$  визначається з допомогою вейвлет-коефіцієнтів

$$x_{сркв}(j, p) = \sqrt{\sum_{k=0}^{2^j-1} (d_{j,k}^p)^2}, \quad (3.8)$$

Тобто, середньоквадратичне значення гармонічних груп сигналу на кожному етапі вейвлет-декомпозиції визначиться наступним чином:

$$x_{сркв}(j) = \sqrt{\sum_{p=0}^{2^j-1} (x_{сркв}(j, p))^2}, \quad (3.9)$$

Досліджуваним сигналом вибрано наступний (рис. 3.8):

$$f(t) = 5 \cdot \sin(f \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 1.5 \cdot \sin(3 \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 0.75 \cdot \sin(7 \cdot f \cdot \pi \cdot t) + \\ + 0.5 \cdot \sin(310 \cdot 3 \cdot \pi \cdot t) + 0.5 \cdot \sin(686 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t) + 0.5 \cdot \sin(952 \cdot 2 \cdot \pi \cdot t);$$

де  $f = 50,1$  Гц.

Сигнал містить гармоніки, інтергармоніки та субгармоніки. Рівень вейвлет-розкладання –  $j = 4$  (16 відліків на період), часове вікно становить 10 періодів, частота дискретизації складає 800 Гц (0,00125 с). В результаті аналізу факту гармонік у електричній мережі обрано даний сигнал. Отже, коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги установлюється: для установок дугового і контактного зварювання – 5, 7, 11, 13 – гармоніками; для використання газорозрядних ламп призводить до виникнення струмів 3 та 5 гармонік (можуть складати 10 % та 3 % від струму основної гармоніки); в мережах з електродуговими сталеплавильними і руднотермічними печами основним чином 2, 3, 4, 5, 7 – гармоніками; трансформатори головної понижуючої підстанції надають 5 – ту гармоніку при несинусоїдальній напрузі на їх вводах.

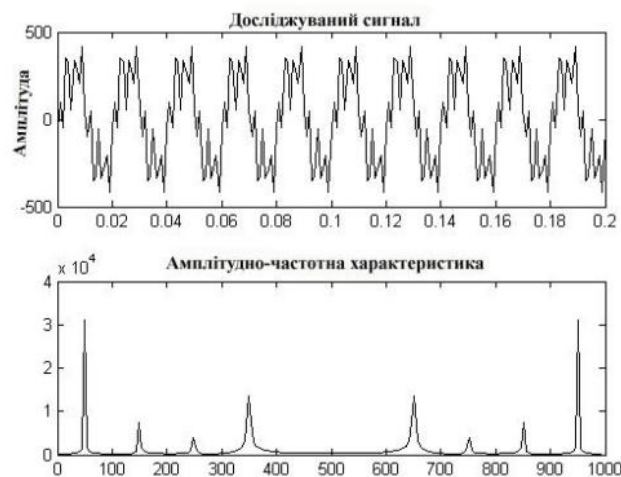


Рисунок 3.8 – Досліджуваний сигнал і його амплітудно-частотна характеристика

Обчислення гармонічних груп виконується за допомогою ДПФ згідно [25] і вейвлет-аналізу з різними типами вейвлетів. Результати обрахувань наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз вимірювання гармонічних груп за ДПФ і вейвлет-перетворенням

Частотна смуга(діапазон), Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	216,001	219,0010	219,83	219,05	219,01
125-175	3	51,001	54,002	54,006	53,95	54,98
225-275	5	26,55	29,005	29,065	28,45	29,98
325-375	7	118,005	118,894	119,09	118,10	118,010
Сумарне значення	257,36		257,357	258,9	257,48	258,33
Помилка, %	0,013		0,015	-0,2	0,298	-0,0144

У якості вейвлет-базисів застосовувалися вейвлети Добеші, Хара і Морле. З таблиці 3.2, результати обчислення гармонічних груп за послідовністю ДПФ і вейвлет-аналізом відрізняються в четвертому знаку після коми, отже є рівнозначними.

На рис. 3.9 наведений досліджуваний сигнал.

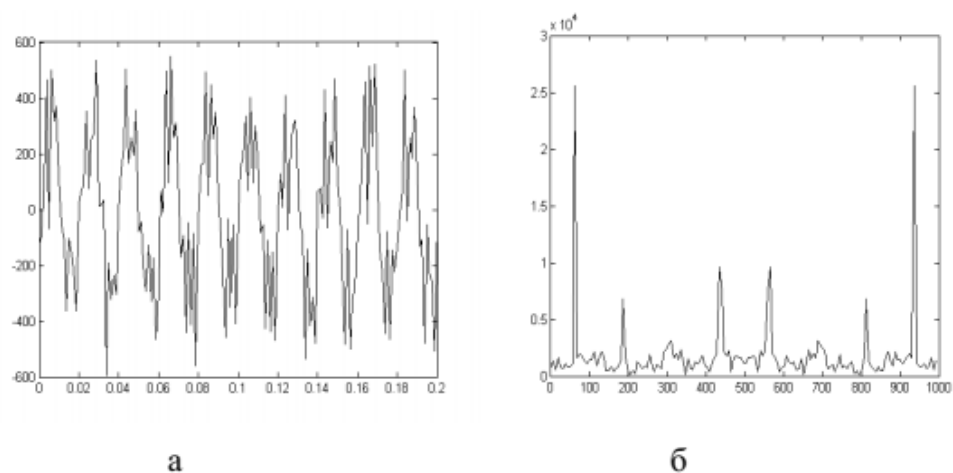


Рисунок 3.9 – Досліджуваний сигнал шумовою складовою (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)[30]



Таблиця 3.3 – Аналіз виміру гармонічних груп за ДПФ і вейвлет-перетворенням сигналу із шумом (рис. 3.5, а)

Частотний діапазон, Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	220,9	220,13	221,00	221,65	220,09
125-175	3	56,08	55,09	56,40	56,48	55,10
225-275	5	30,61	30,1	30,67	31,45	30,21
325-375	7	121,1	120,06	121,19	121,36	120,055
Сумарне значення	259,89		258,48	259,10	260,84	258,35
Помилка, %	-0.612		-0.0658	-0.306	-0.979	-0,058

Проведемо аналіз вищезазначених результатів на стійкість у випадку присутності у досліджуваному сигналі (напрузі електромережі) спотворень. Для такого випадку в електричний сигнал  $x(t)$  включимо спотворення – шумову складову. Характер амплітудно-частотної характеристики (рис. 3.9, б), визначений за допомогою ДПФ, доводить, що шум спричиняє зміни частотного образу сигналу на всьому інтервалі частот, які поширюються по усій частотній осі. Тобто, їх встановлення за діапазоном стає майже неможливим.

Результати обрахунку гармонічних груп сигналу з шумовою складовою за допомогою ДПФ (без використання віконних функцій так як спотворення непостійні, а вибір потрібного вікна утруднюється) і вейвлет-аналізу наведено в таблиці 3.3. Порівнюючи отримані результати, бачимо, що застосування пакетного вейвлет-перетворення для гармонійного аналізу викривленого сигналу в електричних мережах є більш переважним порівняно з ДПФ.

В подальших дослідженнях точності гармонічного аналізу при наявності шуму у випадку використання вейвлет-аналізу високочастотні

(деталізуючі вейвлет-коефіцієнти) виявляється з спектру в результаті обмеження їх рівня деяким пороговим значенням, а в випадку ДПФ застосовуються вікна. Більш ефективним при зниженні впливу шуму на результати гармонійного аналізу виявився вибір чіткого порогу [42, 50] обмеження величини деталізуючих коефіцієнтів порівняно застосуванням віконних функцій.

### **Висновки до розділу**

1. Результати дослідження підтвердили, що забезпечення більш точного аналізу гармонічного складу сигналу, що досліджується при наявності нелінійних навантажень в системі електропостачання потребує включення в групи гармонік проміжних спектральних ліній.

2. При наявності нелінійних викривлень в електричній мережі найбільш точним методом визначення гармонічного складу напруги і струму є вейвлет-аналіз.

3. Ефективне підвищення точності проведення гармонічного аналізу може бути досягнуто при попередній очищеності сигналу від шуму з наступним вейвлет-аналізом (на відмінну від застосування віконних функцій з наступним ДПФ).

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У цьому розділі виконано аналіз стартап-проекту для з'ясування принципової можливості його ринкового впровадження та імовірних векторів реалізації цього впровадження. Розділ складений згідно з [51].

### 4.1 Опис ідеї проекту

Ключовим елементом у розвитку економіки будь-якої держави і життєво необхідним фактором існування людства в сучасному світі є електрична енергія. Всі інфраструктури вважаються споживачами електричної енергії, тому необхідно своєчасне і якісне постачання нею всіх галузей. Ідея проекту полягає у впровадженні автоматизованої системи з контролем показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах, яке дає змогу забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу [2].

Автоматизована система обліку електричної енергії (АСОЕ) з контролем ПЯЕ - це сукупність програмних і технічних засобів, спеціалізованих для автоматичного обліку електроенергії, автоматичного управління процесом електроживлення та контролю якості електроенергії (ЯЕ) [52]. Впровадження даної системи дозволить забезпечити підвищення точності й завадозахищеності вимірювань та зменшення похибки обробки інформації. Основоположним принципом роботи і призначенням системи є збір інформації споживачів електричної енергії по напрузі і потужності для обробки отриманої інформації і створення звіту[52].

Опис ідеї стартап-проекту, що дає уявлення про суть ідеї та імовірні базові потенційні ринки, де присутні групи можливих замовників вказаний в таблиці 4.1[53].

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на підприємствах з різною специфікою, що дає можливість забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу	1.Побут	1.Контроль за нормованими ПЯЕ; 2.Моніторинг споживання і підвищення чутливості вимірювальних засобів облік та відповідно зменшення витрат на оплату. 3.Візуалізація поточної (оперативної) і архівної вимірювальної інформації
	2.Житлово-комунальний сектор	1.Ліквідація безоблікового споживання електроенергії; 2.Регулювання споживання електроенергії шляхом відключення боржників від електромереж; 3.Складання балансу електроенергії по районах, підстанцій, будинкам. 4.Безперервний автоматичний контроль і діагностика працездатності АСКПЯЕ та її компонентів.

Продовження таблиці 4.1

	3.Промисловий сектор	<p>1.Безперервні вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин;</p> <p>2.Ведення контролю поточної потужності по окремих точках;</p> <p>3.Обробка результатів вимірювань параметрів електроенергетичних величин, в тому числі розрахунок статистичних характеристик ПЯЕ;</p> <p>4.Формування звітів про ЯЕ;</p> <p>5.Зберігання результатів вимірювань ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин;</p> <p>6.Синхронізація всіх елементів АСКПЯЕ від єдиного джерела точного часу;</p> <p>7.Безперервний автоматичний контроль і діагностика працездатності АСКПЯЕ та її компонентів;</p> <p>8.Управління доступом до вимірювальної інформації і параметрів роботи АСКПЯЕ;</p> <p>9.Контроль за нормованими ПЯЕ.</p>
--	----------------------	--

## Продовження таблиці 4.1

	4.Адміністративні будівлі	1. Безперервні вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин; 2. Контроль за нормованими ПЯЕ.
--	---------------------------	---

Визначення потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) для формування його конкурентоспроможності. В Україні та світові практики поки що немає конкурента, оскільки АСОЕ з контролем ПЯЕ є унікальною системою. Крім того, трирівнева АСОЕ цілком відповідає найвищим міжнародним стандартам, оскільки забезпечує одночасне вимірювання понад 100 технічних і 2 тис. комерційних параметрів[52].

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

На даному етапі проведено аудит технології за допомогою якої реалізується ідея проекту.

Здійснення технологічної реалізації проекту зображено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Технологічна реалізація ідея проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Моніторинг ЯЕ в мережі шляхом вимірювання таких показників: напруги, небалансу напруги, напруги гармонік, флікерів, а також фіксації провалів напруги та перенапруги.	SCADA-систем	наявна	доступна

## Продовження таблиці 4.2

2.	Підвищення точності й завадозахищеності вимірювань та зменшення похибки	Створення і запроваджен ня алгоритмів	наявна	доступна
3.	Одночасне вимірювання параметрів електроспоживання та ПЯЕ	Створено методологі ю побудови трирівневої АСОЕ	розроблена	розроблена
4.	Керуючі впливи для забезпечення необхідної точності контролю параметрів режиму, ПЯЕ та електроспоживання	Розроблено математичн у модель	розроблена	розроблена
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: SCADA-систем, розроблено математичну модель АСОЕ та запропонували низку алгоритмів для вимірювання параметрів.				

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: реалізація можлива так як розроблено нові технології застосування, а також за постійного оновлення програмного забезпечення SCADA-систем.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У данному розділі проаналізовано ринкові перспективи, що можуть бути використані під час ринкового впровадження проекту та ринкових загроз, що можуть перешкоджати просуванню. Необхідно спланувати вектори

розвитку проекту враховучи стан ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій конкурентних проектів.

Відсутність подібних систем робить проект привабливим з точки зору впровадження на ринок. Вимоги споживачів до якості електроенергії постійно зростають. Тобто, вихід на ринок є рентабельним. Вірний напрямок розвитку гарантує конкурентність стартап-проекту.

У таблиці 4.3 зазначені основні групи клієнтів стартапу та їх характеристика.

Таблиця 4.3 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінність у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Автоматизована система показників якості електричної енергії на підприємствах з різною специфікою, що дає можливість забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії, фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії	-Побутові споживачі; - Промисловий сектор; -житлово-комунальний сектор; - державні органи влади (адміністративні будівлі)	Специфіка, спричинена особливостями споживанням електроенергії	-Надійність, - ефективність, - точність - мінімальний інтервал вимірювань



Висновок: Ринок енергоспоживання формується потребами в точних, миттєвих та надійних вимірюваннях якості та кількості споживання електроенергії. Головними споживачами продукту є промисловий сектор та побутові споживачі. Зазначені споживачі використовують великі обсяги енергії та мають на меті покращити енергоефективність.

Аналіз ринкового середовища з точки зору загроз впровадженню проекту та можливостей представлено у таблицях 4.4 – 4.5.

Таблиця 4.4 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Створення аналогічної системи	Зниження вартості
2	Попит	Відсутність	Застосування маркетингових методів роботи з потенційними клієнтами
3	Обслуговування	Менший інтервал перевірки	Збільшення часу тестування перед запуском системи

Висновок: Основною загрозою для впровадження продукту є можлива конкуренція. Конкуренти здатні створити аналогічну продукцію, що зменшить кількість клієнтів та вартість.

Таблиця 4.5 - Фактори можливостей

№, п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новизна	Унікальна система АСОЕ з контролем ПЯЕ у сфері енергоринку України, збільшення зацікавлених до продукції	Вдосконалення методів, ріст виробництва

## Продовження таблиці 4.5

2	Опанування нових сфер використання	Розширення сфер використання	Розробка компанією спеціальних пропозицій, в яких буде робитись акцент на перевагах використання їх приладу над іншими
3	Зміни в державних стандартах	Відповідність приладу вимогам діючого державного стандарту та стандартам провідних європейських країн	Проведення рекламних компаній опираючись на відповідність приладу вимогам державних стандартів, для залучення нових потенційних клієнтів.

Висновок: Даний продукт є новим на ринку, викликає зацікавленість та популяризацію. Це призводить до збільшенню попиту , відповідно об'ємів продажу та росту виробництва. Крім того, можливі персональні замовлення під специфіку клієнту. З огляду на ситуацію, даний продукт потребує регулярне інформаційне супроводження, а також постійного покращення продукту.

Детальний аналіз умов конкуренції в галузі виконано за моделлю М. Портера та представлено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Клієнти
Висновки	Відсутні	Відсутні	Промислові підприємства, побутові споживачі

На основі аналізу конкуренції приведеного в таблиці 4.6 визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Результати аналізу зведені в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Новизна	Унікальна система контролю ПЯЕ
2	Термін	Швидке визначення оптимальних показників

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 4.7) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проект. Результати представлено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін з компанією конкурентом

№, п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг системи АСКПЯЕ						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Точність	18						V	
2	Термін виконання	10						V	
3	Оновлення	12					V		
4	Корисність на ринку	19							V
5	Якість	19							V
6	Новизна	19							V

У відповідності до таблиці 4.8, можемо підсумувати, що до сильних сторін проекту відноситься: можливість безперервного вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин, можливість зберігання результатів вимірювань ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин; візуалізація поточної (оперативної) і архівної вимірювальної

інформації. До слабких сторін можна віднести ціну самого аналізатора; можливість проводити контроль за нормованими ПЯЕ відповідно до Стандарту.

Аналізуючи сильні та слабкі сторони стартап-проекту впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії, а також факторів загроз та можливостей проводимо SWOT-аналіз. Складання SWOT аналізу є фінальним етапом ринкового аналізу можливого впровадження проекту та представлено у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Якість обладнання;</li> <li>2. Висока точність;</li> <li>3. Одночасне вимірювання параметрів електроспоживання та ПЯЕ;</li> <li>4. Відсутність конкурентів;</li> <li>5. Можливість встановлення будь-якої конфігурації та інтеграції ПЗ в будь-які додатки.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необхідність інвестування;</li> <li>2. Необізнаність покупців.</li> </ol>
Можливості	Загрози
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Позитивна тенденція росту популярності продукції в Україні та інших державах;</li> <li>2. Опанування нових сфер використання;</li> <li>3. Актуальність теми на енергоринку.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява конкуренції;</li> <li>2. Зменшення попиту;</li> <li>3. Економічна ситуація в країні.</li> </ol>

Ринкові загрози та можливості мають деяку ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для представлення стартап-проекту на ринок та визначається оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору термінів та ймовірності отримання ресурсів представлені у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№, п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Кооперація (спільні вигоди)	Вище середнього. Залежить частинно від якості продукції, частинно від співробітництва	1,5 роки
2	Індивідуалізм (максимум власної вигоди)	Висока	1 рік
3	Безкоштовне тестування	Вище середнього. Повністю залежить від якості продукції	1 рік

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Стратегія проекту буде концентрованою. У ролі стратегії розвитку, обрано стратегію диференціації, що передбачає надання продукту важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар унікальним. Така відмінність може формуватися на об'єктивних та суб'єктивних, помітних і непомітних властивостях товару, бути реальною або уявною. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування. Перший етап створення ринкової стратегії передбачає визначення політику охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. Вибір цільових груп потенційних споживачів проведений у таблиці 4.11 [54].

Таблиця 4.11 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№, п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Промисловий сектор	Висока	Висока	Відсутня	Висока
2	Житлово-комунальний сектор	Низька	Низька	Відсутня	Середня
3	Побутові споживачі	Помірна	Середній	Відсутня	Середня
4	Адміністративні будівлі	Низька	Низька	Відсутня	Середня
Обрані цільові групи: Промисловий сектор найбільш зацікавлений у впровадженні АСКПІАЕ. Проте інші споживачи також не виключаються.					

Базова стратегія розвитку стартап-проєкту визначена та представлена у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 - Визначення базової стратегії розвитку

№, п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Ідивідуалізм	Диференційований маркетинг	Трансформування Продукту розрахований під потенційних клієнтів, використання новацій	Повне охоплення ринку

Висновок: Дана стратегія була вибрана для можливості збільшення обсягів продажу враховуючи специфіку клієнтів.

На основі обраної базової стратегії розвитку проводиться вибір стратегії конкурентної поведінки проекту. Результати представлені у таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№, п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і як?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проект є першопрохідцем на ринку	Компанія буде шукати нових споживачів	Не буде, так як продукція компанії поки що не має аналогів	Стратегія заняття конкурентної ніші

Основаючись вимогами споживачів з обраного сегменту до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розроблена стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Результати представлені у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 - Визначення стратегії позиціювання

№, п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1.	Точність вимірювання	Стратегія зростання	Постійне оновлення відповідно до вимог Стандарту	Висока
2.	Достовірність інформації	Стратегія стабільності	Інформація є достовірною	Висока
3.	Чутливість засобів обліку	Стратегія зростання	Постійне оновлення відповідно до вимог ринку	Висока

Висновок: Завдяки зазначеним технологіям у клієнта повинні виникати асоціації з підвищенням енергетичної ефективності та безпеки.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова модель продукту може бути представлена наступним чином.

Продукт за задумом: унікальний у світовій практиці АСОЕ з контролем ПЯЕ, який надає оперативні і достовірні дані моніторингу параметрів якості та технічного контролю електроенергії на всіх рівнях її виробництва, передачі і споживання.



В результаті аналізу вимірювальної інформації в АСКПЯЕ повинні бути визначені такі дані:

- комплексні характеристики ЯЕ (відповідність або невідповідність нормативним значенням);
- напрям поширення спотворення ЯЕ;
- кількість неякісної електричної енергії.

Реалізація продукту передбачає послуги по встановленню, монтажу та сервісні послуги.

Для формування маркетингової концепції товару, необхідне визначення ключових потенційних переваг проекту, які представлено у таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№, п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Висока плата за електричну енергію	Постійний моніторинг рівня енергоефективності	Допомога в прийнятті рішень
2	Необхідність швидких вимірювань	Надійна система для обліку енергоресурсів	Точність, вартість, швидкість, різноманітність, сервісне обслуговування
3	Повнота даних	Аналіз даних по кожному ПЯЕ	Повнота даних по якості електроенергії
4	Підтримка і оновлення	Створення і оновлення функцій	Оновлення до нових Стандартів

Висновок: В результаті формулювання переваг можливо створення реклами продукту.

Трирівнева маркетингова модель потенційного товару представлена у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16- Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1.Товар за задумом	Надання оперативних і достовірних даних моніторингу параметрів якості та технічного контролю електроенергії
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Точність :0,5%</li> <li>2. Якість: сертифікат відповідності якості ISO</li> <li>3. Роздільна здатність за часом: <math>\leq 1\text{мс}</math></li> </ul>
3.Товар із підкріпленням	До продажу – оформлення гарантійного листа, консультація Після продажу: підтримка, сервісне обслуговування, гарантія
Захист товару поводитьсь шляхом патентування приладу	

Необхідно визначити оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення. В таблиці 4.17 представлений аналіз визначення оптимальної системи збуту.

Таблиця 4.17 - Формування системи збуту

№, п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Продаж	Супроводження продукту до замовника	Нульового рівня	Прямий

Висновок: основним каналом збуту є продаж та оптимальна система збуту безпосередня (пряма)

Заключною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що базується на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів. Результат сформульовано у таблиці 4.18.

Таблиця 4.18- Концепція маркетингових комунікацій

№, п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зовнішні обставини змушують споживачів шукати рішення	Інтернет Реклама Сайт виробника	Точність Швидкість Якість Достовірність	Роз'яснення щодо можливостей підвищення енергетичної та економічної ефективності	Контроль ефективності енерговикористання. Економічна вигода.
2	Зацікавленість сучасними технологіями	Реклама Виставки	Точність Швидкість Якість Достовірність	Роз'яснення щодо можливостей підвищення енергетичної та економічної ефективності	Демонстрація можливостей на практичному використанні

Висновок: Маркетингова комунікація відбувається через рекламу в інформаційних ресурсах , на виставках, на сайті виробника, а також практичній демонстрації можливостей.

Подальша реалізація проекту доцільна тільки якщо будуть виконуватись заплановані умови використання проекту. Короткий маркетинговий план проекту представлений у таблиці 4.19.

Таблиця 4.19 - Маркетинговий план проекту

	Ідея	Місце продажу
Об'єкт	Автоматизована системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на підприємствах з різною специфікою, що дає можливість забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксація порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу.	Інтернет ресурси, офіційний сайт
Мета	Одночасно здійснювати ефективний облік електричної енергії та вимірювати показники її якості	Такі канали розповсюдження вибрані як найоптимальніші
Термін	Продукт вийти на ринок	Покупці обиратимуть після того, як товар отримає популяризацію

Продовження таблиці 4.19

Можливості	<p>1.Безперервні вимірювання ПЯЕ і інших параметрів електроенергетичних величин (1 раз на добу, 1 раз на годину або інше);</p> <p>2.Ведення контролю поточної потужності по окремих точках;</p> <p>3.Обробка результатів вимірювань параметрів електроенергетичних величин, в тому числі розрахунок статистичних характеристик ПЯЕ;</p> <p>4. Формування звітів про ЯЕ;</p> <p>5. Зберігання результатів вимірювань ПЯЕ і інших параметрів ЕЕ величин;</p> <p>6.Синхронізація всіх елементів АСКПЯЕ від єдиного джерела точного часу;</p> <p>7. Безперервний автоматичний контроль і діагностика працездатності АСКПЯЕ та її компонентів;</p> <p>8. Управління доступом до вимірювальної інформації і параметрів роботи АСКПЯЕ;</p> <p>9.Контроль за нормованими ПЯЕ</p>	<p>Канали розповсюдження будуть працювати лише після проведення рекламних заходів та створення офіційного сайта.</p>
Кількість	Об'єм продажу буде залежати цілком від попиту та реклами.	Кошти будуть витрачатись на анонсування і оновлення продукту
Суб'єкти ринку	Товар орієнтовано на керівників, або енергоменеджерів підприємств, зацікавлених у підвищенні енергетичної та економічної ефективності	Товар супроводжується до покупця

## Висновки до розділу

В даному розділі розроблений стартап-проект, який полягає у впровадженні автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах, яке дає змогу забезпечити безперервний моніторинг параметрів режиму, облік електроспоживання та контроль якості електроенергії (ЯЕ), фіксації порушень припустимих значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) та інформування оперативного персоналу про ці порушення, а також ведення архівів досліджуваних параметрів режиму, електроспоживання та ПЯЕ для подальшого аналізу. Для цього опрацьована ідея розглянута як бізнес-модель та запропонована зацікавленому колу підприємств різної сфери діяльності.

Був проведений технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей, розроблена ринкова стратегія впровадження проекту та ринкова (маркетингова) програма проекту. Проведений маркетинговий аналіз стартап-проекту «АСКПЯЕ» дозволяє визначити можливості його ринкового впровадження та можливі вектори реалізації його впровадження.

Були визначені основні сфери використання: промисловість, побутовий споживач. Визначені слабкі і сильні сторони.

Проект має гарні перспективи впровадження в Україні та за її межами. Існуючі системи контролю, обліку та планування використання енергоресурсів недосконалі та не контролюють якість електроенергії. Проект забезпечує одночасне вимірювання понад 100 технічних і 2 тис. комерційних параметрів. Попит на проект наявний, рівень конкуренції — відсутній.

Рекламною технологією вибрано засобами Інтернет та сайт виробника. Наявність сайту обов'язкова. Крім того, участь у виставках для показу можливостей системи перед потенційними клієнтами. Альтернативним впровадження можна використати безкоштовне тестування.

За результатами аналізу можна примати рішення про імплементацію проекту за рахунок його унікальності, зручності використання, одночасного здійснення ефективного обліку електричної енергії та вимірювання показників її якості.

## ВИСНОВКИ

1) Проведено аналіз сучасного стану вироблення та витрачання електроенергії в Україні та за її межами. Проаналізовано загальносвітову тенденцію поступової відмови від централізованого енергопостачання. Така тенденція проглядається на рівні великих споживачів, які один за одним відмовляються від електроенергії, одержуваної з єдиної енергетичної системи (ЄЕС), на користь встановлення власної малої (розподіленої) генерації. Розподілена енергетика (мала енергетика, мала розподілена енергетика) - концепція розвитку енергетики, що передбачає будівництво споживачами електричної енергії джерел енергії компактних розмірів або мобільної конструкції і розподільних мереж, які виробляють теплову та електричну енергію для власних потреб, а також напрямних надлишків в загальну мережу (електричну або теплову).

Охарактеризовано існуючі показники якості електричної енергії. Проаналізовано вплив РГ на якість електроенергії та визначено сторони, які винні в погіршенні цих показників. Енергоефективність безпосередньо залежить від якості електроенергії.

2) Для вирішення поставленої мети проаналізовано вплив нелінійних споживачів електроенергії на наявність вищих гармонік в електричній мережі. У зв'язку з цим досліджується сумісна робота джерел, що виробляють електроенергію. Кожне з джерел має певні особливості своєї роботи тому можуть виникати проблеми сумісної роботи, внаслідок чого постає проблема оптимального відбору електроенергії від цих джерел та проблема оптимального споживання виробленої електроенергії електроустановками споживачів. Досліджено взаємний вплив різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу. Результати показують, що при певному поєднанні завад на однойменних та різнойменних гармонічних складових енергетичних процесів різнорідних



типів генераторів (джерел РГ) може виникати взаємокомпенсація або взаємопідсилення тієї чи іншої гармонічної складової в навантаженнях.

3) Проведено огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеню спотворення форми сигналу. Розглянуто застосування вейвлет-перетворення для визначення окремих показників якості електричної енергії (гармонічних груп та інтергармонічних підгруп). Результати дослідження довели, що більш точний аналіз гармонічного складу сигналу при наявності нелінійних навантажень в системі електропостачання потребує включення в групи гармонік проміжних спектральних ліній. При наявності нелінійних викривлень в електричній мережі найбільш точним методом визначення гармонічного складу напруги і струму є вейвлет-аналіз.

4) Проведений маркетинговий аналіз стартап-проекту «Впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах» за для визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації його впровадження. Був виконаний технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, розроблена ринкова стратегія впровадження проекту та ринкова (маркетингова) програма проекту.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.К. Федоров, Е.Н. Леонов, Д.В. Федеров Влияние распределенной генерации на потери и качество электрической энергии. Омский научный вестник №6 (150) 2016 с. 72.
2. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф.І., Ялова О.М. Пархоменко Р.О. Відновлювальні джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання заліззорудних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017.152 с.
3. Бойко С.М., Некрасов А.В., Борисенко О.М., Бондарець О.А., Онищенко А.О. Аспекти моделі прогнозування електроспоживання підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, том 29 (68) ч.2 №6 2018 с. 30.
4. А.В. Трачук, А.В. Линдер Технологии распределенной генерации: Эмперические оценки факторов применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. №1(106) 2018 с. 33-47.
5. Hansen C. J., Bower J. (2004) An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies/Oxford Institute for Energy Studies. Oxford, 2004.
6. Розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека енергоефективність конкурентноспроможність».
7. Стенников В.А., Воропай Н. И. (2014). Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция // Известия РАН. Энергетика. № 1. С. 64–73

8. Франк Майсснер і Фалько Укердт Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики. 2010 BE Berlin Economics GmbH.

9. Tanuj Deora; Smart electric power alliance; Lisa Frantzis, advanced energy economy; and jamie mandel // Rocky Mountain Institute

10. А. Рожко Міжнародне партнерство України в сфері відновлюваної енергетики//Наука молода №19, 2013.с.77-82.

11. Розвиток відновлюваних джерел в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики (18.11.2010) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010\\_13/BE-Studie-Erneuerbare\\_Energien-ukr\\_final.pdf](http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-Erneuerbare_Energien-ukr_final.pdf).

12. Frankel D., Wagner A. (2017) Battery storage: Thenext disruptive technology in the power sector //McKinsey. URL: <https://www.mckinsey.com/businessfunctions/sustainability-and-resource-productivity/ourinsights/battery-storage-the-next-disruptive-technology-inthe-power-sector>

13. Davis F.D. (1989) Perceived use fullness, perceived ease of use and user acceptance of information technology // MIS Quarterly. Vol. 13, № 3. P. 319–340.

14. ДСТУ:EN 50160-2014 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення».

15. Енергозбереження і енергоефективність-2. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»/ Укл.: Вербицький Є.В., Кисельова А. О. - К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 136 с.

16. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств / В.Є. Шестеренко –К. ЧП “Глана”, 2001.с.- 213.

17. О. О. Синявська, П. В. Слюсарчук. Ряди Фур'є. Навчальний посібник для студентів спеціальностей математика, прикладна математика, статистика. – Ужгород, 2015. – 70 с.

18. Харченко В.Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств: Конспект лекцій для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 „Електротехніка” (6.050701 „Електротехніка та електротехнології”) / В.Ф. Харченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 168 с.

19. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

20. Навчальний посібник за курсом "Автономні перетворювачі" для студентів спеціальності 7.090803, 8.090803 "Електронні системи" денної і заочної форм навчання / Укладачі: О.О. Махно, В.В. Семенов, О.В. Будьонний, Н.А. Омельчук / За редакцією В.Я. Жуйкова – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 126 с.

21. Руководство по устройству электроустановок. Технические решения Шнейдер Электрик. URL: [http://www.kz.schneiderelectric.com/documents/customers/designers/d-webadvanced/Electrical\\_Guide\\_2009.pdf](http://www.kz.schneiderelectric.com/documents/customers/designers/d-webadvanced/Electrical_Guide_2009.pdf).

22. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

23. Sarabia A.F. Impact of distributed generation on distribution system // Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark.

24. Saadati M., Mortazavi S.S. Two modified method for Harmonic and Flicker measurement based on RWPC considering spectral leakage and edge effects.

25. Xaili Ma, Girgis F.F. Identification and tracking of harmonic sources in a power system using a Kalman filter // IEEE Transaction on Power Delivery. – 1996. – Vol. 11. – No. 3. – P. 1659 – 1665.
26. Dasha P.K., Shazia Hasana, Panigrahib B.K. A hybrid unscented filtering and particle swarm optimization technique for harmonic analysis of nonstationary signals // India Institute of Technology, India, 2009.
27. Huang Sh.-J., Hsich C-T. Visualizing time-varying power system harmonics using a Morlet wavelet transform approach // Electric Power-Systems Research. – 2001. – Vol. 58. – No. 2. – P. 81 – 88.
28. Riberio P. Wavelet transform: An Advances Tool for Analyzing non stationary harmonic distortion in Power Systems//Proceeding IEEE International Conference on Harmonic in Power Systems. - 1994. – P. 365 – 369.
29. Tran, K. Effects of dispersed generation (DG) on distribution systems / K. Tran, M. Vaziri // Proc. of IEEE Power Engineering Society General Meeting - 2005 - vol.3. - P. 2173-2178. - doi:10.17485/ijst/2011/v4i10/30172/
30. Волошко А.В. Выполнение гармонического анализа с помощью вейвлет преобразования//Электронное моделирование. – 2012. – « 4. – С. 65 – 77.
31. Wang J., Qiwen R., Wang F., Yanchao J. Time-varying transient harmonic measurement based on wavelet transform // Proceedings International Conference on Power System Technology. – 1998. – Vol. 2. – P. 1556 – 1559.
32. Driesen J., Graenenbroeck V., Reekmans R., Dommelen V.bAnalysing timer-varying power system harmonics using wavelet transform // ConferencebProceedings IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. – 1999. –Vol. 1. – P. 474 – 479.
33. Волошко А.В. Устранение влияния неустойчивости частоты сети на точность определения качества электрической энергии/А.В. Волошко, О.В. Коцарь//Техническая электродинамика. – 1994. – « 4. – С. 73 – 77.

34. Zheng T., Makram E.B. Wavelet representation of voltage flicker // Electric Power Systems Research. – 1998. – Vol. 48. – No. 2. – P. 133 – 140.
35. DAndria G., Savino H., Trotta A. Windows and interpolation algorithms to improve electrical measurement accuracy // Transactions on Instrumentation and Measurement. – 1989. – Vol. 38. – No. 4. – P. 856 – 863.
36. Mallat S. G. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation/ IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. -1989.-vol.11. p. 674-693.
37. Перелигін Б.В., ТкачТ.Б., Гор'євС.А. Спектрально-часовий аналіз даних моніторинга: навчальний посібник / Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2017. 124 с.
38. Girgis A., Chang B., Makram E. A digital recursive measurement for on line tracking of power systems harmonics // IEEE Trans. On Power Delivery. – 1991. – Vol. 6. – No. 3. – P. 1153 – 1160.
39. Pham V.J., Wong K.P., Watson N., Arvilaga J. Sub-harmonic state estimation inpower systems // IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. – 2000. – Vol. 2. – P. 1168 – 1173.
40. Волошко А.В. Выполнение гармонического анализа с помощью вейвлетпреобразования//Электронное моделирование. – 2012. – « 4. – С. 65 – 77.
41. D.Hart, D. Uy, D.Novosel, S.Kunsman, C.Laplace, M.Tellarini Improving power quality // ABB Review. – 2000. – Vol. 4. – №1. – P. 12 – 19.
42. Huang S.J., Hsieh C.T. Application of continues wavelet transform for study of voltage flicker-generated signals // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2000. – Vol. 36. – No. 3. – P. 925 – 932.
43. Chin M.T., Meliopoulos S. Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis // Proceeding Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. – 2000. – Vol. 2. – P. 732 – 738

44. Michalik M., Okraszewski T.M. Application of the Wavelet Transform to Backup Protection of MV Networks – Wavelet Phase Comparison Method // IEEE Power Tech Conference, 2003.
45. Hamid E.Y., Kawasaki Z. Wavelet packet transform for rms values and power Measurements // IEEE Power Eng. Rev. – 2001. – Vol. 21. – No. 9. – P. 49 – 51.
46. Kung S.Y. State-space and singular-value decomposition – based approximation methods for the harmonic retrieval problem//JOSA. – 1983. – Vol. 73. - Issue: 12. – P. 1799 – 1811.
47. Кухаренко Б.Г. Исследование по методу Прони динамики систем на основе временных рядов//Труды МФТИ. – 2009. – том 1. – « 2. – С. 176 – 192.
48. Stoica P. List of references on spectral line analysis//Signal processing. 1993. – Vol 31. – P. 329 -340.
49. Dash P., Pradham A., Panda G. Frequency estimation of distorted power system signals using extended complex Kalman filters // IEEE Trans. On Power Delivery. – 1999. – Vol. 14. – No. 3. – P. 761 – 766.
50. Barros J., Diego R.J. Application of the Wavelet-Packet Transform to the Estimation of Harmonic Groups in Current and Waveforms// IEEE Trans.on Power Delivery.- 2006. – Vol.21, №1. – P. 533-535.
51. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей «Розроблення стартар-проекту»/ Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016 р.
52. СОУ НЕК 03.120.4-14:2019/Забезпечення контролю і дотримання показників якості електричної енергії у процесі її передачі магістральними та міждержавними електричними мережами ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО»/ ДП «НЕК «Укренерго», 2019.

53. Павлов А. Н. Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие /А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП – СПб., 2006 – 72 с.

54. Вознесенский В.А Принятие решений по статистическим моделям / В. Вознесенский, А. Ковальчук. - Москва: Статистика, 1978. 193с.